الطاقة المتجددة



تأليف

دار الشروق

الطاقة المتجددة

الطبعـة الأولى
١٤٠٦ هـ - ١٩٨٦ م
الطبعـة الثـانيـة
١٤٠٩ هـ - ١٩٨٨ م

© دار الشروق
القاهرة : ١٦ شارع جواد حسني - هاتف . ٣٩٣٤٥٧٨ - ٣٩٣٤٨١٤
برقيا : شروق - تلكس : 93091 SHROK UN
بيروت ص ب . ٨٠٦٤ - هاتف ٣١٥٨٥٩ - ٨١٧٧٦٥ - ٨١٧٢١٣
برقيا . داشروق - تلكس : SHOROK 20175 LE

الطاقة المتجدّدة

الشمس والرياح والنبات وأمواج البحر ومسـاقط المياه
لتحلية الماء وتسخينه والطهى وتكييف الهواء وتوليد الكهرباء

تـأليف

دكتور محمد رأفت إسماعيل رمضان
أستاذ مساعد الفيزياء - كلية العلوم
جامعة طنطا

دكتور على جمعان الشكيل
أستاذ مساعد الكيمياء - كلية العلوم
جامعة صنعاء

دار الشروق

بسم الله الرحمن الرحيم

والحمد لله رب العالمين والصلاة
والسلام على سيد الخلق والمرسلين

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم :

إن مشكلتى نضوب مصادر الطاقة التقليدية وتلوث البيئة الناشىء عن شراهة الدول الصناعية فى حرق النفط والفحم ناهيك عن ارتفاع أسعارها وما ترتب على ذلك من مشاكل اقتصادية وخيمة لدول العالم النامى لمن أهم ما يدعونا إلى ضرورة الإلتفات إلى ما أنعم الله به على بلادنا من مصادر للطاقة المتجددة وضرورة إستغلالها .

وما مؤلفنا هذا إلا محاولة متواضعة من أجل التعريف بهذه الطاقات التى لا تنضب من شمس ورياح ونبات وحرارة أرضية وهيدروجين ومحيطات وبحار ومد وجزر ومساقط للمياه وغيرها ..

والسيطرة على تقنيات تحويل هذه الطاقات المتجددة إلى صور الطاقة الثلاث من كهرباء وحرارة وحركة سيضع الدول الفقيرة على عتبة باب جديد فى التقدم التقنى وسيحل بعض معضلاتها الإقتصادية والتنموية .

وكتابنا هذا هو ثمرة عدة بحوث لنا فى هذا الموضوع .. ولقد بذلنا جهدنا لنبعد عن المعادلات الصعبة أو المعقدة مع شرح وتبسيط لمحتواها العلمى حتى نحافظ على الأمانة العلمية فى أسلوب سلس وبسيط .

وندعوا الله العلى القدير أن يُحقق هذا المؤلف الهدف الذى كُتب من أجله لينير الطريق إلى غد أفضل ، وأن يوجه أنظار المتخصصين إلى دراسات أكثر عمقًا فى مجالات الطاقة المتجددة .

ونتوجه بالشكر العميق لقسم الجيولوجيا بجامعة صنعاء للمناقشات العلمية البناءة والأخ الأستاذ الدكتور حامد الشاطورى لقيامة بمراجعة النص العلمى لفصل الحرارة الأرضية وإضافته لخريطة توزيع الحمامات الساخنة فى اليمن .

والله ولى التوفيق

المؤلفان

المحتويات

الفصل	الموضوع		الصفحة
١	المقدمة	Introduction	١٥
	المراجع		٢٠
٢	الوقود الأحفورى	Fossil Fuel	
٢ ـ ١	مقدمة		٢١
٢ ـ ٢	النفط		٢٢
٢ ـ ٣	الغاز الطبيعى		٢٣
٢ ـ ٤	الفحم		٢٤
٢ ـ ٥	الزيت الحجرى ورمال القطران		٢٦
٢ ـ ٦	الوقود الأحفورى وتلوث البيئة		٢٦
٢ ـ ٧	المطر الحمضى		٢٧
٢ ـ ٨	الوقود الأحفورى والمناخ		٢٨
٢ ـ ٩	الخلاصة		٢٩
٢ ـ ١٠	المراجع		٣٠
٣	الطاقة الشمسية	Solar Energy	
٣ ـ ١	مقدمة		٣١
٣ ـ ٢	طيف الإشعاع الشمسى		٣٣
٣ ـ ٣	سلوك الطاقة الشمسية		٣٥
٣ ـ ٤	الطاقة الشمسية فى العالم العربى		٣٧
٣ ـ ٥	الطاقة الشمسية فى اليمن		٤٠
٣ ـ ٦	كفاءة التحويل للطاقة الشمسية		٤٢

٣ ـ ٧ الطاقة الشمسية فى خدمة الأسرة والمجتمع ٤٢
١ ـ التدفئة ٤٣
٢ ـ تسخين المياه ٤٧
٣ ـ التقطير الشمسى ٥١
٤ ـ تكييف الهواء والتبريد ٥٣
٥ ـ الطهى المنزلى ٥٩
٦ ـ التجفيف ٦٠
٧ ـ توليد القوى الكهربائية من الحرارة الشمسية ٦٢
٨ ـ توليد الكهرباء مباشرة بالخلايا الشمسية (الفوتوفولتية) ٦٤
٣ ـ ٨ إختزان الطاقة الشمسية ٧٢
٣ ـ ٩ طرق إختزان الطاقة الشمسية ٧٣
١ ـ إختزان الحرارة الظاهرة ٧٣
٢ ـ إختزان الحرارة الكامنة ٧٦
٣ ـ الإختزان الكيميائى ٧٧
٤ ـ الإختزان على شكل طاقة وضع مائية ٧٨
٣ ـ ١٠ ملاحظة وتوصية ٧٨
٣ ـ ١١ المراجع ٧٩

٤ البرك الشمسية Solar Ponds
٤ ـ ١ تصنيف البرك الشمسية ٨١
٤ ـ ٢ البرك الملحية الشمسية ٨٣
٤ ـ ٣ النظرية العلمية للبرك الملحية الشمسية ٨٣
٤ ـ ٤ مميزات تقنية البرك الشمسية ٨٦
٤ ـ ٥ المراجع ٨٧

٥ طاقة الكتلة البيولوجية Biomass
٥ ـ ١ تحويل الكتلة البيولوجية إلى وقود ٨٩
٥ ـ ٢ محركات غاز المولدات للمناطق الريفية ٩١
٥ ـ ٣ قاعدة عمل محركات غاز المولدات ٩١
٥ ـ ٤ مصادر الوقود ٩٣
٥ ـ ٥ كفاءة الطاقة ٩٤
٥ ـ ٦ البيوجاز ٩٤

٥ ـ ٧ المراجع ٩٨

٦ الطاقة من الرياح Wind Energy

٦ ـ ١ مصدر طاقة الرياح ٩٩

٦ ـ ٢ لمحات من تاريخ إستغلال طاقة الرياح ١٠٠

٦ ـ ٣ توافر المصدر فى الدول العربية ١٠٣

٦ ـ ٤ المراوح الهوائية ١٠٥

٦ ـ ٥ أنظمة التخزين ١٠٦

٦ ـ ٦ التطور المأمول ١٠٧

٦ ـ ٧ المراجع ١٠٧

٧ طاقة الحرارة الأرضية Geothermal Energy

٧ ـ ١ نشأة الحرارة الأرضية ١٠٩

٧ ـ ٢ حقول إنتاج الحرارة الأرضية ١١٢

١ ـ حقول للمياه الساخنة ١١٤

٢ ـ حقول البخار الرطب ١١٤

٣ ـ حقول البخار المحمص ١١٥

٧ ـ ٣ استغلال الطاقة الحرارية الأرضية ١١٧

٧ ـ ٤ انشاء منابع صناعية للحرارة الجوفية ١١٧

٧ ـ ٥ مكامن الحرارة الأرضية فى اليمن ١١٧

٧ ـ ٦ المراجع ١٢٢

٨ النبات كمصدر للطاقة Plants as Source of Energy

٨ ـ ١ مقدمة ١٢٣

٨ ـ ٢ الفربيون ١٢٤

٨ ـ ٣ الغابة كمصدر للطاقة ١٢٦

٨ ـ ٤ زيت زهرة عباد الشمس ١٢٦

٨ ـ ٥ الطحالب ١٢٦

٨ ـ ٦ الهرمونات النباتية ١٢٧

٨ ـ ٧ نباتات الطاقة ١٢٨

٨ ـ ٨ الوقود السائل من النبات ١٢٨

٨ ـ ٩ الهيدروكربونات من النبات ١٢٩

٨ ـ ١٠	إنتاج الايثانول بالتخمر	١٢٩
٨ ـ ١١	الميثانول من الخشب	١٣٠
٨ ـ ١٢	هيدرة السليلوز	١٣٠
٨ ـ ١٣	المراجع	١٣٠
٩	طاقة الهيدروجين Hydrogen Energy	
٩ ـ ١	تواجد الهيدروجين	١٣١
٩ ـ ٢	أنظمة استخدام طاقة الهيدروجين	١٣١
٩ ـ ٣	إنتاج الهيدروجين	١٣٣
	١ ـ تحضير الهيدروجين بالتحلل الكهربى للماء	١٣٤
	٢ ـ تحلل الماء حراريًا	١٣٦
	٣ ـ تحضير الهيدروجين بتأثير الأشعة الشمسية مباشرة	١٣٧
٩ ـ ٤	مزايا الهيدروجين	١٣٩
٩ ـ ٥	المراجع	١٤١
١٠	طاقة المد Tidal Energy	
١٠ ـ ١	ظاهرة المد والجزر	١٤٣
١٠ ـ ٢	نبذة تاريخية	١٤٤
١٠ ـ ٣	تصميمات لسد الإحتياجات الكهربية وقت الذروة	١٤٥
١٠ ـ ٤	مزايا قوة المد	١٤٥
١٠ ـ ٥	الأخطار البيئية	١٤٦
١٠ ـ ٦	المراجع	١٤٦
١١	الطاقة الكهرومائية Hydropower	
١١ ـ ١	طاقة سقوط المياه	١٤٧
١١ ـ ٢	بعض مميزات الطاقة الكهرومائية	١٤٨
١١ ـ ٣	الأخطار الناجمة عن السدود الكبيرة	١٤٩
١١ ـ ٤	الإستفادة من الطاقة الكهرومائية فى اليمن ودول البحر الأحمر	١٤٩
١١ ـ ٥	المراجع	١٥١

١٢ الطاقة من مياه المحيطات والبحار OTEC and Sea Waves

١٢ ـ ١ مشاريع إستغلال طاقة مياه البحار والمحيطات ١٥٣

١٢ ـ ٢ المسلمون والطاقة المائية ١٥٥

١٢ ـ ٣ المراجع ١٥٦

١٣ الطاقة النووية Nuclear Energy

١٣ ـ ١ الإنشطار النووى والإندماج النووى ١٥٧

١٣ ـ ٢ المفاعلات النووية ١٥٨

١٣ ـ ٣ أخطار تصاحب إستعلال الطاقة النووية الإنشطارية ١٦٠

١٣ ـ ٤ الطاقة النووية الإندماجية ١٦٢

١٣ ـ ٥ المراجع ١٦٦

١٤ خاتـمة Conclusion



الفصل الأول

المقدمة Introduction

خلق الله الإنسان فى هذا الكون لتأدية مهمة محددة هى الخلافة عن الله فى الأرض . وزوده سبحانه بأدوات الخلافة ومستلزماتها ليقوم بمهمته على الوجه المطلوب . وكان أول مازوده به هو العلم . وجاء ذلك فى القرآن الكريم فى قوله تعالى : «وعلم آدم الأسماء كلها ثم عرضهم على الملائكة فقال : أنبئونى بأسماء هؤلاء إن كنتم صادقين . قالوا سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت العليم الحكيم . قال : يا آدم أنبئهم بأسمائهم» .
[البقرة ٣١ – ٣٣] .

وبذلك كان العلم فضل الله العظيم ومنته الكبرى على الإنسان تميز بها عن غيره من المخلوقات بما فى ذلك الملائكة . واستمر منحنى التقدم العلمى فى صعود منذ فجر التاريخ حتى العصر الحديث حيث تبين لكل ذى عين ترى مكانة العلم وأهميته فى التأثير على حاضر الأمم ومستقبلها فى السلم والحرب وفى اليسر والعسر وفى الشدة والرخاء .

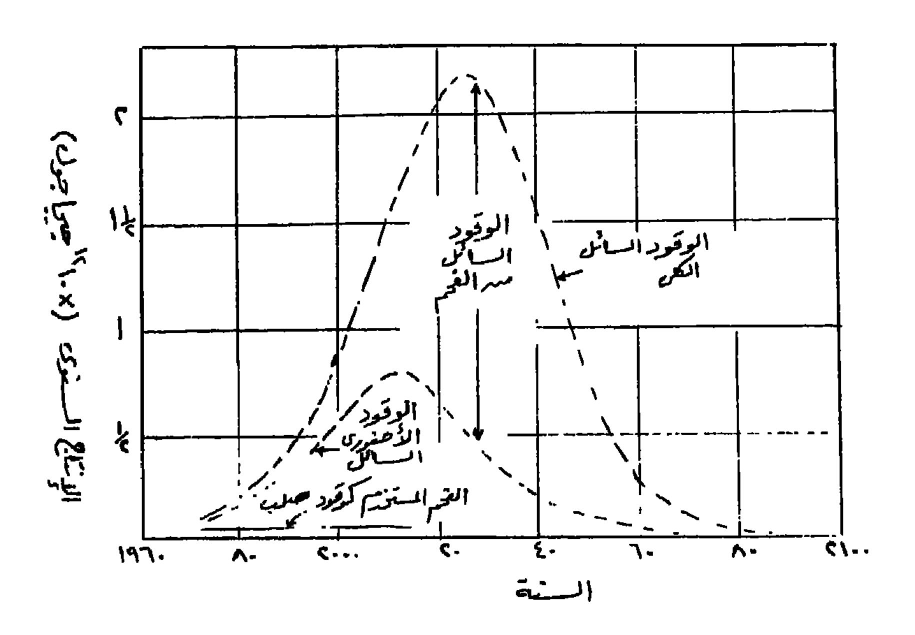
وجهز الإنسان متسلحًا بالعلم غزوات حررته من الفقر ومن الإعتماد على الغير والخضوع لسيطرته واستغلاله . وتحققت إنتصارات رائعة كانت تعد فى الماضى القريب من المستحيلات . وأصبح ما كان بالأمس حلمًا مستحيلاً هو اليوم – أو غدًا – حقيقة واقعة ملموسة .

ولعل أهم ما يواجه الإنسان فى أواخر القرن العشرين الميلادى من تحديات هى مشكلة الطاقة . وللعلم فى هذا الميدان صولات وجولات ستتعرض لبعض جوانبها بين صفحات هذا الكتاب .

هناك طاقات معروفة للبشرية منذ أقدم العصور ، مثل الشمس والماء والريح . ولكن الشعوب جهلت قيمتها الحقيقية ، وكانت الآفاق أمامها ضيقة ، مغلقة لجهلها بالعلوم والتطبيقات التكنولوجية التى نعرفها اليوم ، والتى يُفتح بها كل يوم بابًا جديدا يؤدى إلى أبواب جديدة أخرى تكشف عن الكنوز والثروات المخبوءة . وهكذا يضع العلم فى أيادينا هذه القوة السحرية التى تهئ للبشرية حياة لانكاد نحلم بها اليوم ، ولكننا نستطيع أن نتخيلها حقيقة مؤكدة واقعة بعد حين يطول أو يقصر حسبما يفتح الله به على العلماء من كشوف واختراعات .

إن الطاقات المتجددة ستكون فى المستقبل القريب مصادرًا لطاقاتنا المحركة . فالعلماء يلجون كل يوم بابًا من أبوابها . وإذا لم يعثروا على بغيتهم فى باطن الأرض أو أعماق البحار ، فإن لهم طرقهم الرائعة فى إستخلاصها من الشمس أو الهواء أو الماء . ومن مواد ماكان الإنسان ليظن أن لها نفعًا ، أو أنها ستصبح يومًا ينبوعًا لثروات جديدة وحياة رخية هنيئة .

وعصر الثروة العلمية أساسه الطاقة . وكلما إزدادت ثروتنا من الطاقة قوى ساعدنا وأصبح فى إمكاننا السير فى مقدمة الركب . وفى العصر الحديث ، فإن جزءًا كبيرًا من الإستهلاك العالمى للطاقة (حوالى سبعين فى المائة) يتكون من الوقود الأحفورى السائل (البترول) والغازى (الغاز الطبيعى) والصلب (الفحم) وذلك لتواجدها بوفرة ورخص سعرها وسهولة استخدامها ولتطور التقنيات التى تعتمد عليها . ولكن من المتوقع أن يبلغ الإنتاج العالمى من الوقود الاحفورى حده الأقصى قريبًا جدًا ومن ثم يبدأ فى التناقص بل والنفاذ فى مدة لا تتجاوز مائة عام [٢٠١] . ومن الشكل (١ ـ ١) [٣] يتبين أن على العالم أن يجد بدائل للوقود الأحفورى السائل والغازى والصلب مع بداية القرن الواحد والعشرين لتغطى احتياجاته من الطاقة .



شكل (١ ـ ١) [٣] توقعات الإنتاج العالمى من الوقود الأحفورى

وهكذا بدأ العلماء فى البحث عن بدائل للوقود الأحفورى سُميت بدائل الطاقة المتجددة تميزت عن الوقود الأحفورى بأنها دائمة لا تنضب . فإذا كان من المتوقع أن ينضب مخزون العالم من النفط خلال مائة عام فإن ما يعرف من الوقود النووى يكفى لتغطية احتياجات العالم بأسره من الوقود فترة لاتقل عن خمسين ألف عام . وكذلك الحال بالنسبة للطاقة الشمسية فهى متجددة دائمًا ومتوفرة .

ولقد قررت منظمة الأمم المتحدة فى دورة انعقادها الثالثة والثلاثين تكوين مؤتمر عالمى يتناول مصادر الطاقة المتجددة فى عام ١٩٨١ . وأجمع المؤتمرون على إتباع استراتيجية التغيير من عصر الاعتماد الكلى على الطاقة التقليدية (الوقود الأحفورى) إلى عصر استخدام مصادر الطاقة البديلة والمتجددة .

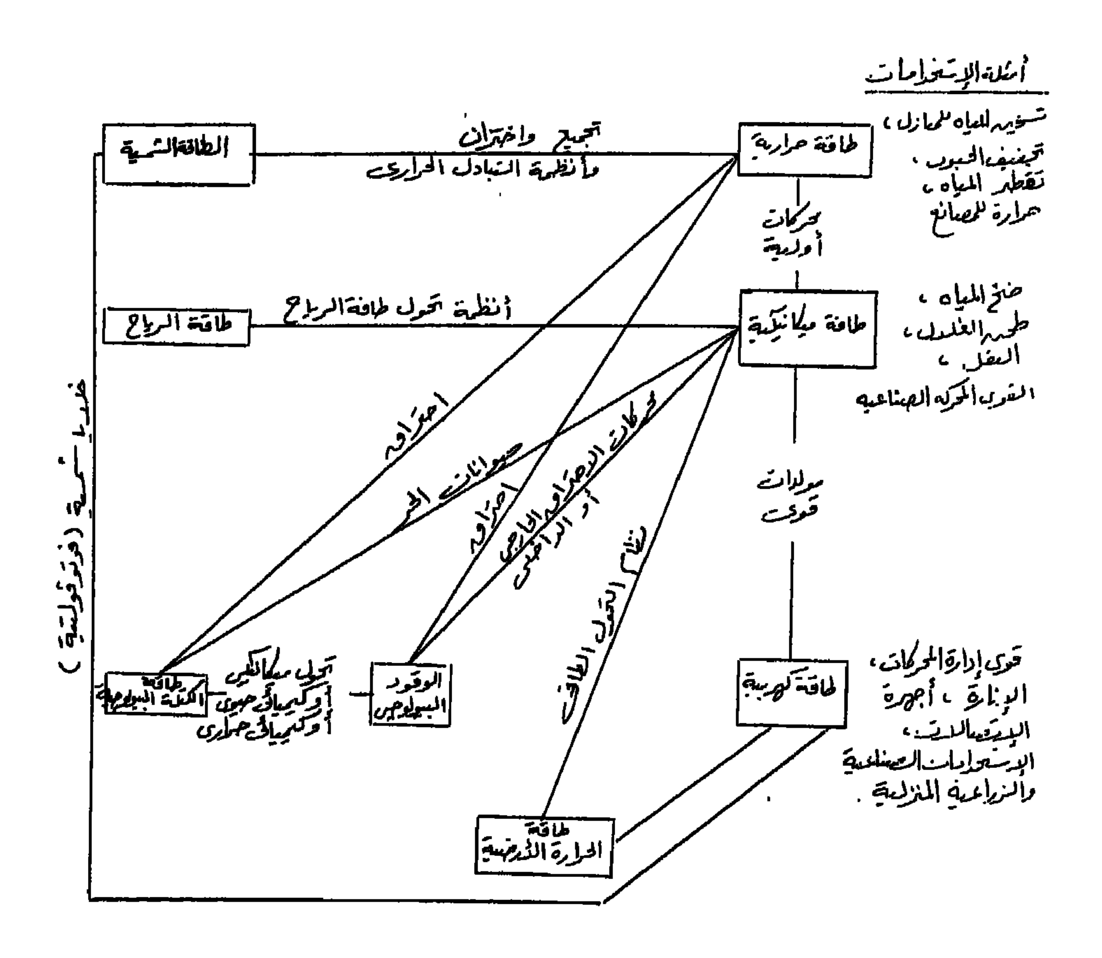
وتمتد مصادر الطاقة لتشمل الطاقة الشمسية ، والطاقة الحرارية الأرضية ، وطاقة الرياح ، والكتلة البيولوجية ، والطاقة الكهرومائية ، وطاقة المد والجزر ، وموجات البحر ، والطاقة الحرارية لمياه المحيطات ، والبرك الملحية ، وطاقة الهيدروجين ، والطاقة النووية ، والنباتات كمصدر للطاقة .. وغيرها .. «وسخر لكم مافى السماوات وما فى الأرض جميعًا منه» . صدق الله العظيم .

وتمتلك معظم الدول النامية كثيرًا من مصادر الطاقة المتجددة وخصوصًا الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والكتلة البيولوجية والطاقة الحرارية الأرضية . وتناسب هذه المصادر متطلبات القرى الصغيرة من الطاقة فى إستخداماتها اليومية . ولقد ثبت بالتجربة الفعلية والعملية أن إستخدام مصادر الطاقة المتجددة فى المجتمعات القروية هذه هو الأنسب من الناحية الإقتصادية عنها فى المجتمعات الصناعية المتقدمة .

ومن خلال مصادر الطاقة المتجددة التى تُستعرض فى هذا الكتاب تستطيع كثير من الدول خاصة التى تستورد النفط والغاز أن تقلل من وارداتها منه باستبداله فى بعض الإستعمالات ببديل سهل أو محلى أقل ضررًا على إقتصاد البلاد وإستقراره . وعلى سبيل المثال فقد أنعم الله على العالم العربى والإسلامى بشمس ساطعة على مدار أيام السنة فهلاً إلتفتت الشعوب إلى هذه النعمة واستغلتها . إنها ثروة حقيقية عاش الكون كله عليها منذ خلقه الله وسيظل إلى ما شاء الله . ويبين شكل (١ ـ ٢) [٤] أربعة من المصادر الرئيسية للطاقة المتجددة وطرق الإستفادة منها .

ولقد نشأت فكرة هذا الكتاب من بحوث نشرناها تحت عنوان مصادر الطاقة المتجددة للجمهورية العربية اليمنية [٤٠٥] ثم وجدنا أن الطاقات المتجددة الصالحة لليمن تفيد العالمين العربى والإسلامى بل والبشرية جمعاء ، فجد عزمنا على إخراجها فى كتاب .

والله نسأل أن يتقبل منا هذا العمل ويجعله خالصًا لوجهه ينفعنا يوم نلقاه .



شكل (١ ـ ٢) [٤] أربعة من المصادر الرئيسية للطاقة المتجددة وطرق الاستفادة منها .

المراجع :

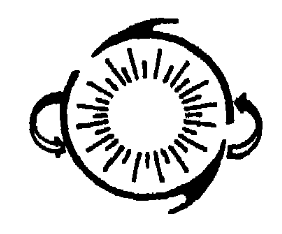
١ - M.A. Elliot and N.C. Turner, 'Estimating the Future Rate of Production of the World's Fossil Fuels', Presented at the American Chemical Society's 163rd National Meeting, Division of Fuel Chemistry Symposium on 'Non-Fossil Chemical Fuels', Boston, April 13,1972.

٢ - J.D. Parent, 'A Survey of United States and Total World Production, Proved Reserves, and Remaining Recoverable Resources of Fossil Fuels and Uranium as of December 31,1977,' Institute of Gas Technology, Chicago, March 1979.

٣ - T.N. Veziroglu, 'Hydrogen Versus Synthetic Fossil Fuels', Conference on Non-Conventional Energy Sources, 20 June-8 July 1983, ICTP, Trieste, Italy.

٤ - M.R.I. Ramadan and A.G. El-Shekeil, 'Renewable Energy Resources For Yemen A.R. Part I: Available Resources', Accepted For Publication, April 1983, Delta J. of Science.

٥ - M.R.I. Ramadan and A.G.El-Shekeil, 'Renewable Energy Resources For Yemen A.R., part II: Possible Resources.', Accepted For publication, August 1984, Delta J. of Science.





الفصل الثاني

الوقود الأحفورى Fossil Fuel

٢ ـ ١ مقدمة

يشمل الوقود الأحفورى النفط والغاز الطبيعى والفحم إضافة إلى الزيت الحجرى ورمال القطران . وهذه المواد تستخرج من باطن الأرض وتحرق فى الهواء أو الأكسجين لإنتاج حرارة تستخدم فى الأغراض المختلفة .

ولقد اقترن الوقود الأحفورى بالمشاكل الإقتصادية العالمية التى هددت وتُهدد العالم كله بشكل عام والعالم الثالث بصورة خاصة . وبالإضافة إلى الزيادة السريعة والمستمرة فى أسعاره فإنه بات من المؤكد أن مصادره الأرضية آيلة للنضوب فى فترة زمنية محددة . فهو مصدر لطاقة غير متجددة تكونت خلال آلاف السنين . هذا وتبلغ واردات الدول النامية منه ٦٠ فى المائة من مجموع صادراتها .

وإن تكاليف الوقود الأحفورى لا تقتصر فقط على حساب سعر شراء برميل البترول أو طن الفحم ولكن لابد من إدخال التأثيرات والعوامل البيئية المختلفة وما ينتج عن إستخدامه من أضرار .

وقد لعب الفحم دورًا فعالاً فى العقود الأولى من القرن العشرين كمصدر أساسى للطاقة ولكن النفط والغاز الطبيعى لبيا متطلبات الطاقة الهائلة من أجل التصنيع وتقدم الاقتصاد العالمى . ولذا فلا عجب أن يُسمى القرن العشرين عصر النفط وذلك لأهميته القصوى فى الصناعة والزراعة والمواصلات وغير ذلك من متطلبات الحياة فى العصر الحديث .

وظل إنتاج العالم من الفحم ثابتًا منذ الثلاثينات من القرن العشرين ويمثل حوالى ٢٠ فى المائة من إستهلاك العالم من الطاقة فى عام ١٩٨٠ بينما يمثل النفط حوالى ٥١ فى المائة ويمثل الغاز الطبيعى ١٨ فى المائة كما يتضح من جدول (٢ ـ ١) [١].

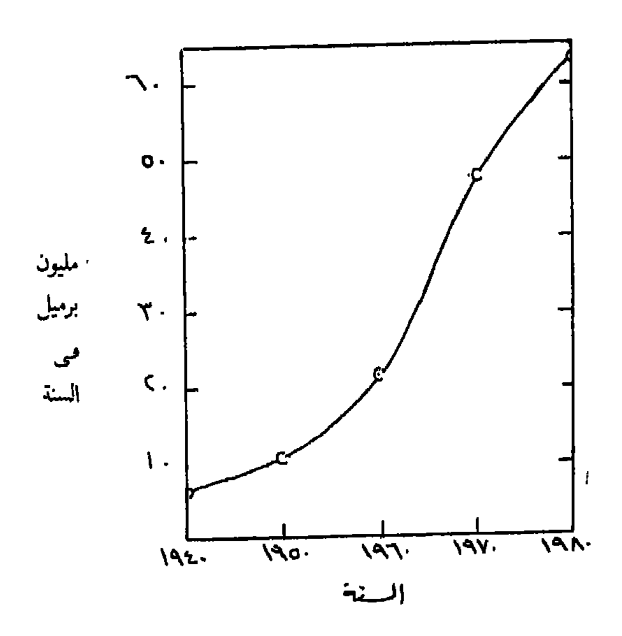
جدول (٢ ـ ١)

استهلاك العالم من الطاقة فى عام ١٩٨٠

نوع الوقود	مليون برميل / يوم	النسبة المئوية
نفط	٦٧	٥٠,٧٥
فحم	٢٧	٢٠,٤٥
غاز	٢٣	١٧,٤٢
كهرومائية	٩	٦,٨٢
نووية	٦	٤,٥٥

٢ ـ ٢ النفط

يبين الشكل (٢ ـ ١) تزايد الإنتاج العالمى من النفط منذ سنة ١٩٤٠ حتى سنة



شكل (٢ ـ ١) الإنتاج السنوى العالمى من الطاقة.

١٩٨٠ . وقد أدى الطلب المتزايد على النفط ومشتقاته إلى هذا النمو السريع . ولعل من أهم أسباب ذلك :

١ ـ أهمية النفط الخام لإنتاج نطاق واسع جدًا من المنتجات .
٢ ـ سهولة ونظافة التعامل مع النفط كمصدر للطاقة .
٣ ـ سهولة النقل والتخزين .
٤ ـ رخص ثمنها النسبى منذ عام ١٩٤٠ .
٥ ـ أهميتها فى صناعة البتروكيماويات .
٦ ـ كفاءتها العالية للأغراض الخاصة مثل إستعمالها كمصدر طاقة فى وسائل المواصلات والنقل وكمادة أولية لإنتاج الزيوت المعدنية والشموع وغير ذلك .
٧ ـ زيادة الطلب على الألياف الصناعية من البلاستيك واللدائن ومواد الطلاء وغيرها المشتقة من منتجات النفط بصورة رئيسية .

أدت هذه الأسباب مجتمعة إلى هذا النمو المتزايد وأعطت النفط أهميته فى إقتصاديات الدول المنتجة والمستهلكة على السواء وكنتيجة للطلب المتزايد على النفط الخام زادت الأسعار وظهرت للنفط مساوىء منها تلوث البيئة المريع والتى جعلت العالم يعيد النظر فى إستهلاكه من النفط وظهرت فى الأفق دلائل إنخفاض فى الإستهلاك ولكن يبدو أن العالم سيعتمد على الوقود الأحفورى حتى نهاية القرن العشرين وربما لبضعة عقود فى القرن الذى يليه لتلبية إحتياجاته من الطاقة .

٢ ـ ٣ الغاز الطبيعى :

يُعتبر الغاز الطبيعى ثانى أهم أنواع الوقود الأحفورى بعد النفط ويتميز عن النفط بأنه يوجد فى الصورة الغازية وليس السائلة ويوجد مصاحبًا للنفط فى بعض الحقول كما يوجد غير مصاحب للنفط فى بعض الحقول الاخرى .

ويبين الجدول (٢ ـ ٢) تقديرات الإحتياطى العالمى المؤكد من الغاز الطبيعى القابل للإستخراج بحسب تقديرات عام ١٩٨٠ ويبلغ مجموع الإحتياطى العالمى حوالى ٧٥ ألف ليون متر مكعب ويعادل ٥٠٠ بليون برميل من النفط تقريبًا .

جـدول (٢ ـ ٢)

تقديرات الاحتياطى العالمى المؤكد من الغاز الطبيعى

المنطقـة	مليون مليون متر مكعب
الشرق الأوسط	٢١.٣
أمريكا الشمالية	٩.٧
أفريقيـا	٥.٩
بقية آسيا	٤.٥
أمريكا الجنوبية	٢.٧
الاتحاد السوفيتى	٢٦.--

ومن الملاحظ أنه فى الوقت الذى كان يعتبر الغاز المكتشف فى بداية عصر النفط لا فائدة له فإن قيمته قد ازدادت منذ عام ١٩٢٠ وبلغ استهلاك العالم منه خلال عام ١٩٨٠ ١٤١٥ بليون متر مكعب .

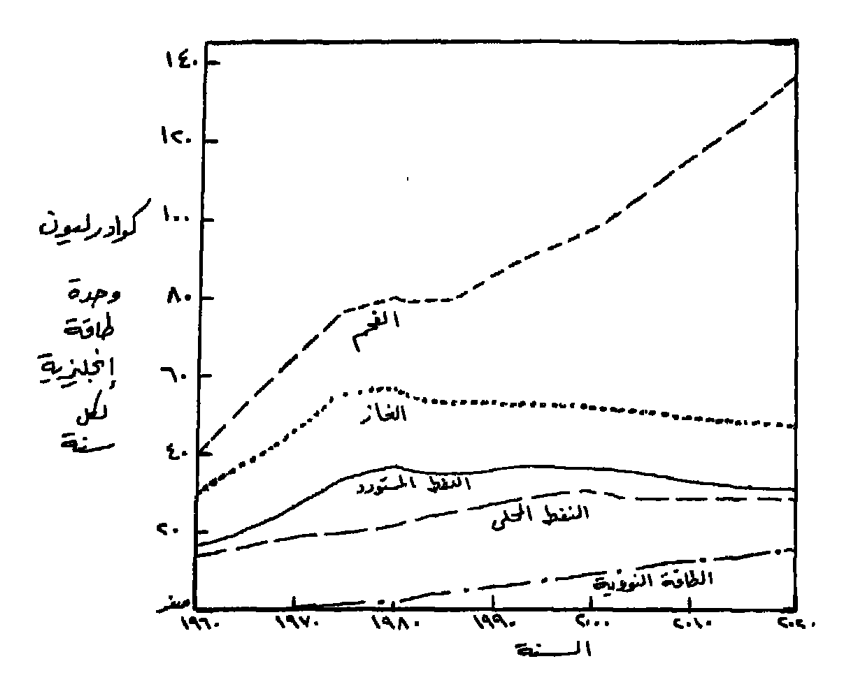
٢ ـ ٤ الفحـم

الفحم هو أكثر أصناف الوقود الأحفورى وفرة إذ يبلغ احتياطى العالم المؤكد منه حوالى ٧٠٠ بليون طن . وبما أنه مشتق من الخشب والكتلة البيولوجية فإنه يتكون أساسًا من عنصرى الكربون والهيدروجين ولذلك ينتج طاقة عند حرقه كالغاز الطبيعى والنفط .

ويُعانى الفحم من أنه وقود غير نظيف بالمقارنة مع النفط والغاز الطبيعى ويحتوى على الكبريت وعدد من المعادن الاخرى ويرتبط إستخراجه من مناجمه بمخاطر عديدة . كانت هذه المساوىء سببًا فى إنخفاض الطلب على الفحم وفكر المستهلك فى النفط والغاز الطبيعى والطاقة النووية للحد من تلوث البيئة .

ونتيجة لوفرة الفحم وإنخفاض سعره عاد للظهور مرة أخرى مع إستفحال أزمة الطاقة . ومما يجذب المستهلك إليه هو إمكانية إستعماله كوقود صلب وكذلك يمكن تحويله إلى سائل أو غاز .

وإذا كان للفحم أن يحل مشاكل الطاقة فى القرن الواحد والعشرين كما تتوقع الإدارة الأمريكية لمعلومات الطاقة (شكل ٢ ــ ٢) [٢] ، فإن ذلك يجب أن يتم بصورة لا تؤثر على البيئة .



شكل (٢ ــ ٢) مقارنة توضح أهمية الفحم فى القرن القادم

وتظهر أهمية تغويز الفحم وتسييله من التفكير المبكر فى ذلك . ففى عام ١٩١٣ سجل برقوين أول براءة إختراع لهدرجة الفحم باستعمال حفاز فى ٤٠٠ ــ ٥٠٠ درجة مئوية وتحت ٢٠٠ ــ ٢٥٠ ضغط جوى وحصل على خليط من الهيدروكربونات يشبه النفط فى تركيبه . أما فى عام ١٩٢٦ فقد طور فيشر وتروبش طريقة للحصول على وقود السيارات من الفحم بتحويله إلى غاز الماء تبعًا للمعادلة :

ماء + فحم ← أول آكسيد الكربون + هيدروجين
(غاز الماء)

ثم هدرجة غاز الماء الناتج باستعمال الكوبلت كحفاز وحصل على خليط من الهيدروكربونات .

ويوجد فى العصر الحديث عدد من المصانع التجريبية لتغويز وتسييل الفحم فى أوروبا والولايات المتحدة . وأحد طرق التغويز الحديثة والمتقدمة هى طريقة روكت وداين والتى تبدأ بهدرجة الفحم المسحوق لإنتاج الميثان والبنزين فى المرحلة الأولى حيث تستهلك حوالى نصف الكربون الموجود . والنصف المتبقى من الكربون يُغوز باستعمال الأكسجين وبخار الماء فى المرحلة الثانية وينتج أثناء هذه المرحلة الهيدروجين اللازم للمرحلة الأولى إضافة إلى غاز الفحم [٢] .

٢ ـ ٥ الزيت الحجرى ورمال القطران

ويوجد فى العالم كميات كبيرة من الزيت الحجرى Shale Oil الذى يحتوى جزئه العضوى على مادة شمعية تعرف بالكيروجين . ويمكن إستخلاص الكيروجين بسحق الصخر الزيتى وتسخينه فى ٤٠٠ درجة مئوية فى معوجات خاصة فينتج غاز وسائل لزج قذر إذا نُظف يعطى موادًا ذات طاقة عالية تستعمل فى إنتاج وقود النفاثات والسيارات .

أما رمال القطران Tar Sands فتحتوى أيضًا على مادة عضوية يمكن إستخلاصها بالتسخين .

ولازال إستخلاص المادة العضوية من رمال القطران والزيت الحجرى فى حاجة إلى طاقة كبيرة وتكلفة عالية وتعترض سبيله عوائق بيئية وتكنولوجية . ولكن يوجد إحتياطى لابأس به وستتوجه إليه الأنظار مع إستفحال أزمة الطاقة بعد أن يتجاوز مراحل التجريب التى يمر بها حاليًا .

٢ ـ ٦ الوقود الأحفورى وتلوث البيئة

وتعتبر نواتج إحتراق الوقود الأحفورى من أكبر الأضرار التى تهدد الكائنات الحية . فمن المتوقع أن ينتج عن إستخدامه هذا العام خمسة وعشرين بليون طن من ثانى أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين والأوزون والسناج والرماد [٣] . وينتج عن ذلك تلوث الهواء ، والمطر الحمضى ، والبرد الحمضى ، والضباب الحمضى والتى تتسرب بدورها إلى التربة فتسم الحياة فى المحيط الحيوى الذى يشمل الإنسان والحيوان والنبات . أما النفط المراق أو المتسرب فيلوث مصادر مياه الشرب وشواطىء البحار ومنه إلى الأحياء والنباتات البحرية ثم إلى الإنسان .

ولعوامل التلوث تأثيرات خطيرة على البشر فقد وُجد أن نسبة إصابة كرات الدم الحمراء لبعض سائقى سيارات النقل بلغت ١٢ ٪ من جراء أول أكسيد الكربون [٤] وارتفعت نسبة الرصاص فى دم الأطفال كنتيجة سلبية لإضافة مركباته لتحسين أداء وقود السيارات . وقدرت وكالة وقاية البيئة الأمريكية التكاليف الناجمة عن أخطار تلوث البيئة والتى يدفعها الأمريكيون لدرء هذا الخطر القاتل بحوالى إثنين وعشرين بليون دولار سنويًا [٤] . وتؤدى الأمطار الحمضية إلى إصابة حوالى خمسين ألف أمريكى بأمراض قاتلة علاوة على حوادث التسمم والاختناق التى يسببها إنبعاث أول أكسيد الكربون فى الأماكن المغلقة [٥] .

وتبتلع الأمراض المتعلقة بالتلوث ٧ ـ ١١ ٪ من حجم المصاريف الطبية الكلية حسب الإحصائيات الحديثة [٦] .

٢ ـ ٧ المطر الحمضى

تنفث المصانع ومحطات الكهرباء والسيارات الغازات الناتجة عن حرق الوقود الأحفورى إلى السماء وتأتى الرياح لتأخذها إلى مناطق بعيدة عن مصادر التلوث وينزل المطر فيذوب هذه الغازات الحمضية من الجو مثل أكاسيد الكبريت والنتروجين وينخفض الأس الهيدروجينى للمطر من ٥,٦ فى المناطق غير الملوثة حتى وصل إلى ١,٥ (أقوى من حمضية عصير الليمون) على مدينة هويلنج غرب فرجينيا فى الولايات المتحدة . وتصبح المياه العذبة غير صالحة للشرب وتفقد البحيرات ثرواتها السمكية ومن التقارير المخزنة أن أربعة آلاف بحيرة فى السويد فقدت أسماكها فى حين أن أربعة عشر ألف أخرى أصبحت حمضية وتقوم الحكومة السويدية بضخ الجير فى هذه البحيرات فى محاولة لإنقاذها من موت محقق وتبلغ التكاليف أربعين مليون دولار سنويًا [٧] .

وتفقد الولايات المتحدة ٢٠ فى المائة من ثروتها السمكية نتيجة لتلوث وحمضية المجارى المائية والبحيرات . كما تفقد خمسة فى المائة من محاصيلها الزراعية بسبب الأمطار الحمضية .

يتخلل المطر الحمضى التربة فيقتل بعض أنواع البكتريا المفيدة والتى تقوم بتثبيت النتروجين كما يذيب بعض الأملاح التى لا تذوب عادة فى الماء . والأملاح الذائبة وعلى الأخص أملاح الألمنيوم تكون سامة بالنسبة لجذور الأشجار الحديثة. وللأمطار الحمضية

تأثيرات ضارة على الغابات رغم أنها تظهر بعد أزمان طويلة نسبيًا .

وللأمطار الحمضية أثر سيىء واضح على المبانى الحديثة منها والأثرية . ويبدو أن المطر الحمضى سيكون من أهم قضايا البيئة فى الثمانينات . وقد ناقش بويل ١٨١ فى كتابه « المطر الحمضى » تذويب المطر الحمضى للرصاص وبعض المعادن السامة الأخرى حتى أصبحت تظهر فى تحاليل مياه الشرب وأثر الضباب الحمضى على الجهاز التنفسى وضرره على طلاء السيارات كما أدخل نظريات أخرى كإحتمال وجود علاقة بين زيادة تركيز الألمنيوم فى مياه الشرب ومرض الزهايمر وإمكانية وجود علاقة بين تلوث الهواء الجوى وإزدياد حدة العواصف الرعدية .

إن جميع المؤشرات التى تعرضنا لها آنفا لتشير إلى أن المطر الحمضى ـ وليد الوقود الأحفورى ـ يؤدى إلى تهديم البيئة تدريجيًا .

٢ ـ ٨ الوقود الأحفورى والمناخ

كانت نسبة ثانى أكسيد الكربون فى توازن مستمر مع نسبة الأكسجين فى الهواء حيث تقوم النباتات الخضراء بعمليات التمثيل الكلوروفيلى واستهلاك ثانى أكسيد الكربون وإخراج الأكسجين اللازم لإستمرار الحياة كجزء مما سخره الله للإنسان فى هذا الكون ثم إكتشف الانسان الوقود الأحفورى وبدأ فى حرقه وأخذت نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الجو فى التزايد إلى أن تضاعفت مرات ومرات فى كثير من المناطق الصناعية .

وأخيرا ظهر للعالم خطورة تزايد ثانى أكسيد الكربون فى جو الأرض حيث يؤدى إلى إرتفاع مستمر فى درجة حرارة الجو المحيط بالكرة الأرضية لأنه يمنع خروج الإشعاعات الشمسية مرة أخرى إلى الفضاء الخارجى . وما يحدث شبيه بفكرة البيت الزجاجى الذى تستزرع فيه النباتات فى الأجواء الباردة نتيجة لإحتفاظه بالحرارة .

فإرتفاع درجة الحرارة يتسبب فى ظاهرتين خطيرتين هما زيادة رقعة الصحراء بإتجاهى الشمال والجنوب وذوبان الثلوج مما يؤدى إلى إرتفاع منسوب المحيطات . والظاهرتان تسيران معًا ويدًا بيد ولكن فى بطء شديد .

أما زيادة رقعة الصحراء باتجاهى الشمال والجنوب فيحول المناطق ذات المناخ المعتدل إلى شبه إستوائية ، فى حين أن المناخات الباردة فى الشمال والجنوب تصبح معتدلة وبالتالى

تزيح الأرض الزراعية شمالاً وجنوبًا وتضيق مساحة الأرض المنزرعة ويضطر الناس إلى الهجرة مما يؤدى إلى آثار إجتماعية وإقتصادية وسياسية متباينة .

ومعدل ارتفاع مستوى سطح البحر يصل إلى أربعة عشر مليمتر كل سنة . ومن المتوقع أن يزداد هذا المعدل بدرجة كبيرة [٩] لأن أى زيادة ملحوظة فى درجات الحرارة وإرتفاع سطح البحر سيتسبب فى الإذابة السريعة للغطاء الثلجى فى غرب أنتركتيكا . وعندما يرتفع مستوى سطح البحر سبعة أمتار ستغرق معظم موانىء العالم أما قبل ذلك فسيزحف البحر تدريجيًا على اليابسة مبتلعًا الأخضر واليابس .

٢ ـ ٩ الخلاصة

يتبين من الفقرات السابقة أن العالم ليس على وشك أن ينضب منه النفط أو أنه يوشك أن يستهلك تمامًا ما بقى لديه من طاقة كما يروج البعض . فالعالم العربى خاصة يمتلك حوالى نصف احتياطى العالم من النفط وربع احتياطى العالم من الغاز الطبيعى . المهم فى الأمر هو التفكير فى بدائل للوقود الأحفورى فى وقت مبكر قبل الوصول إلى خطر نضوبه مع وضع إستعمالاته الصناعية فى الحسبان والإحتفاظ به للإستعمالات التى لا يستطيع غيره من بدائل الطاقة القيام بها مثل المواصلات وإنتاج الزيوت والبتروكيماويات .

ويرى بعض الخبراء المتفائلون أنه من المتوقع أن يكتشف حوالى ثلاثة أضعاف إحتياطى العالم المؤكد من النفط كما أن طرقًا جديدة لإستخلاص النفط من حقولة الحالية والمستقبلية ستكتشف مما يزيد من إنتاج هذه الحقول .

من الناحية الأخرى سيزيد إستهلاك العالم بصورة عامة من الوقود نتيجة لزيادة عدد السكان بينما كفاءة الطاقة للاستعمالات المختلفة سترتفع ، وسيتوجه العالم إلى محاولة إيجاد حلول محلية لمتطلبات الطاقة لضمان إستمرار تدفق الطاقة ولتفادى دفع عملات صعبة ، وستحدد إستعمالات الوقود الأحفورى تقليلاً لأضرار تلوث البيئة .

وفى الفصول التالية نورد مصادر وبدائل لطاقات متجددة كحلول محلية لمتطلبات الطاقة .

٢ ـ ١٠ المراجع :

١ ـ The Petroleum Handbook, Elsevier, 1983

٢ ـ Progress on Alternative Energy Resourccess, by H.T. Couch, Astronautics and Aeronautics, March 1982.

٣ ـ T.N. Veziroglu, 'Hydrogen Versus Synthetic Fossil Fuels', Conference on Non-Conventional Energy Sources, 20 June-8 July 1983, ICTP, Trieste, Italy

٤ ـ R.M. Zweig, 'Hydrogen-Prime Candidate For Solving Air Pollution Problems', in T.N. Veziroglu, W.D.Van Vorst and J.H. Kelley (EDS.), Hydrogen Energy Progress IV Proceedings Of the Fourth World Hydrogen Energy Conference, Pergamon Press, V. 4, PP 1789-1805, New York, 1982.

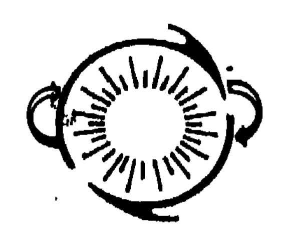
٥ ـ P.M. Zweig, Private Communications (1983).

٦ ـ National Health Expenditures, by Object: 1960 to 1980, Statistical Abstract of the united States, U.S. Department of Commerce, Bureau of the census, PP 100, Washington, 1981.

٧ ـ A.La Bastille, 'Acid Rain: How great a menace?', National Geographic, PP 652-680, Nov. 1981.

٨ ـ Boyle and Boyle, 'Acid Rain', Schocken books N.Y., 1983.

٩ ـ H.R. Wanless and P.H arlem, 'A statement on the evidence for and implications of a recent rise in sea level', RSMAS, University of Miami Report, Miami, April 1981.





الفصل الثالث

الطاقة الشمسية Solar Energy

٣ ـ ١ مقدمة

الشمس .. من أعظم نعم الله .. ترسل أشعتها إلى الأرض فتبعث فيها الحياة . ذكرها الله تعالى فى محكم آياته فقال : « وسخر لكم الشمس والقمر دائبين» صدق الله العظيم .

وقد عرف الإنسان منذ أقدم العصور أن الشمس مصدر الحياة والقوة ، فاتخذ منها واهمًا إله يُعبد ، ولقد قال الهدهد لسليمان عليه السلام « وجدتها وقومها يسجدون للشمس من دون الله » ـ سورة النمل آية ٢٤ وهو يصف بلقيس ملكة سبأ . وفى مصر القديمة كانوا يرمزون إليها بالإله (رع) ، وفى الدولة الرومانية القديمة يرمزون إليها بالإله « ميترا » ، وكان سكان أمريكا الجنوبية ـ خلال مدنياتها القديمة ـ يضعون المرايا فوق قمم الجبال لتجميع أشعة الشمس واشعال النيران ، لإضاءة سفوح الجبال فى الليل ، وتبادل الاشارات الضوئية ، عبر المسافات البعيدة . واستعمل العالم الاغريقى «أرخميدس» المرايا الحارقة للدفاع عن بلاده ، ونجح بواسطتها فى إحراق أسطول العدو الرومانى عندما رأوه يقترب من أسوار « سيراكوز» . وهذه المرايا التى كشف عنها قد وضعت بشكل خاص ، لتركيز الأشعة فى بؤراتها ، ثم توجيهها صوب الهدف . وفى القرن السابع عشر قام العالم « بوفون» بعمل تجربة أمام لويس الرابع عشر ملك فرنسا ، فجمع أشعة الشمس المنعكسة من مائة وأربع وأربعين مرآة فى بؤرة واحدة تبعد ستين مترًا عن المرايا ، وكان قد وضع كومًا كبيرًا من الأخشاب فى هذه البؤرة ، فأحرقها عن آخرها .

وجاء «لافوازييه» العالم المشهور خلال الثورة الفرنسية ، فاخترع جهازه المصنوع من

عدد كبير من العدسات ، ووضع فى عدسة كبيرة فى مقدمة الجهاز كحولاً ، ليجعل تركيز أشعة الشمس خلالها على أشد ما يكون ، وبواسطة هذا الجهاز استطاع الحصول على درجات حرارة عالية كانت كافية لصهر الحديد والبلاتين .

وفى عام ١٨٧٥ إخترع «موشو» آلة بخارية تتكون من غلاية أسطوانية من النحاس طليت باللون الأسود ، تسع مائة لتر ، وتحيط بها مرآة معدنية مخروطية الشكل ، مساحة سطحها الذى يعكس أشعة الشمس على الغلاية عشرين مترًا مربعًا ، فترفع حرارة الماء إلى درجة الغليان . واستعمل البخار فى إدارة آلات صغيرة .

وأقام شومان ، جهازًا لتوليد القوى الشمسية فى عام ١٩١١ فى فيلادلفيا ، وهو مكون من أحواض معدنية يجرى فيها الماء ، وقد غطيت بألواح من الزجاج لحفظ الحرارة ، وثبتت على جوانب الأرض مرايا مستوية . وتبلغ مساحة الأحواض جميعًا أربعمائة وخمسين مترًا مربعًا . وفى استطاعة هذا الجهاز أن يحول مائتى لتر من الماء بخارًا فى الساعة الواحدة . لكن عيب هذا الجهاز أنه مثبت فى مكانه ، فلا يستطيع متابعة الشمس فى حركتها طول النهار ، وبذلك تقل كفايته الانتاجية فى أغلب ساعات النهار . وبعد ذلك بعامين أقام جهازًا آخر فى مصر ، بالقرب من المعادى ، بعد أن أدخل عليه بعض التحسينات الطفيفة ، إذ كانت المرايا الموضوعة على جوانب الأرض مقعرة ، وتتبع الشمس فى دورانها . واستعمل البخار الناتج من هذا الجهاز فى إدارة آلات تصل قوتها إلى مائة حصان ، لرفع المياه من النيل ورى الأراضى .

ثم انصرفت دول العالم إلى إستغلال الوقود الأحفورى واكتشفت القوى البخارية والكهربية .. ومرت الأعوام وشهد العالم حروبًا إستنفد فيها قواه ومع هبوط رصيده من الفحم والبترول ، أخذ يفكر فى قلق عن بدائل الطاقة حتى يستمر العالم فى التقدم والإزدهار ، ولذلك بدأت الأنظار تتجه نحو الطاقة الطبيعية الكبرى التى لا تنفد : الطاقة الشمسية .

إن الطاقة التى فى كل من الغذاء والوقود ترجع إلى الطاقة الشمسية ، بواسطة التمثيل الضوئى فى النبات ، فبهذه الطريقة يتحد ثانى أكسيد الكربون ببخار الماء ، مع وجود مادة الكلوروفيل الخضراء كحفّاز للحصول على الكربوهيدرات .

وتبذل الآن معظم دول العالم جهودًا ضخمة فى مجال الإستفادة من الطاقة الشمسية باعتبارها البديل النموذجى للطاقة التقليدية أو طاقة الوقود الأحفورى . وتأخذ هذه الجهود عدة صور ، بعضها يغوص فى أعماق البحث المعملى ، وأخرى تدور فى فلك التطوير التكنولوجى للأجهزة والمعدات التى تحول الطاقة الشمسية إلى صورة مألوفة من الطاقة سواء كانت طاقة كهربية أو طاقة حرارية ، وثالثة تخطط من أجل بناء مشروعات ضخمة تتكلف ملايين الدولارات .

وفى الأعوام الأخيرة أخذت تدور حول الأرض الأقمار الصناعية التى أطلقتها كل من أمريكا وروسيا إلى الفضاء ، وترسل إلى المحطات الأرضية الإشارات والتقارير التى تسجلها الأجهزة الالكترونية التى تغذيها بالكهرباء بطاريات شمسية ، ومما يدعو إلى الاعجاب أن قوة تلك البطاريات التى تحول أشعة الشمس إلى كهرباء لم تضعف حتى اليوم .

ويواصل المهندسون والعلماء فى عدد كبير من الأقطار بحوثهم وتجاربهم لإستغلال الطاقة الشمسية بأجهزة تجمع بين الإقتصاد فى النفقات والحصول على أكبر قدر ممكن من الطاقة . وفى عام ١٩٥٣ عقد أول مؤتمر دولى مهم فى ولاية أريزونا الأمريكية ثم تعاقبت بعد ذلك المؤتمرات الدولية المختلفة على مدار السنين ليطلع العلماء على أحدث طرق إستغلال الطاقة الشمسية وغيرها من بدائل الطاقة المتجددة وأيضًا ليتدارسوا أحسن الوسائل للحصول على الطاقة من هذا الكنز المخبوء فى أشعة الشمس ، وإستغلالها فى خير البشرية ورفاهيتها ، وتعمير المناطق المنعزلة القفرة . لمواجهة الزيادة المضطردة فى عدد السكان ، ولتوسيع رقعة الأراضى المزروعة . وتحويل الثروة المعدنية إلى صناعات تزدهر بها البلاد وتهيىء لها الثراء والإستقلال الاقتصادى .

٣ ـ ٢ طيف الإشعاع الشمسى

يتكون الإشعاع الشمسى من طيف من موجات كهرومغناطيسية تقسم إلى نطاقات حسب أطوالها الموجية كما فى جدول (٣ ـ ١) .

جـدول (٣ ـ ١)

طيف الإشعاع الكهرومغناطيسى

نوع الأشعة	نطاق الأطوال الموجية ز (ميكرون)
الأشعة الكونية	أقل من $١٠^{١}$
أشعة جاما	$١٠^{٨} < ز < ١٠^{٤}$
الأشعة السينية	$١٠^{٥} < ز < ١٠^{٢}$
الأشعة فوق البنفسجية	$٢ \times ١٠^{٢} < ز < ٠.٤٠$
الضوء المرئى	$٠.٤٠ < ز < ٠.٧٥$
الأشعة تحت الحمراء	$٠,٧٥ < ز < ١٠٠$
أمواج الراديو	$١٠٠ < ز < ١٠^{١٠}$

(١ ميكرون = $\frac{١}{مليون}$ متر)

ومن هذا الطيف الكبير للموجات الكهرومغناطيسية نشعر فقط بالموجات فى نطاق الأطوال من ٠,١٠ إلى ١٠٠ ميكرون حيث تسبب هذه الموجات إحساسنا بالحرارة وبالتالى تسمى بالإشعاع الحرارى . والجدير بالذكر أن نطاق الضوء المرئى يحتل جزءًا يسيرًا من طيف الإشعاع الحرارى .

ويُبين الجدول (٣ ـ ٢) التوزيع الطاق لبعض نطاقات هذا الطيف القادم من الشمس .

جـدول (٣ ـ ٢)

التوزيع الطاق لطيف الإشعاع الشمسى الحرارى

نطاق الأطوال الموجية (ميكرون)	صفر ـ ٠,٤٠	٠,٤٠ ـ ٠,٧٥	٠,٧٥ ـ ٤٠
الطاقة التقريبية (وات / المتر المربع)	٩٥	٦٤٠	٦١٨
النسبة المئوية التقريبية من الطاقة الكلية	٧٪	٤٧٪	٤٦٪

ويتضح من هذا الجدول أن الضوء المرئى يحتوى على حوالى نصف الطاقة الكلية للطيف الكهرومغناطيسى القادم من الشمس .

ويحتوى الغلاف الجوى على غاز الأوزون وبخار الماء وجسيمات الهواء وبعض الجسيمات المعلقة كالغبار وقطرات الماء التى تؤدى كلها إلى إضعاف الإشعاع الشمسى نتيجة إمتصاصه أو تبعثره فى نطاقات موجية مختلفة . فيكون ضعفه فى الطيف المرئى ناتجًا عن إمتصاصه بواسطة غاز الأوزون ، أما إمتصاصه بواسطة بخار الماء فيحدث فى الطيف تحت الأحمر . ومن جهة أخرى يضعف الإشعاع الشمسى عند الأطوال الموجية القصيرة نتيجة تبعثره بواسطة جسيمات الهواء بينما لا يكون تبعثره بواسطة قطرات الماء المعلقة فى الجو حساسًا إلا عند الأطوال الموجية الكبيرة نسبيًا .

٣ ـ ٣ سلوك الطاقة الشمسية [١]

تُشع الشمس ما يعادل ١٢ كوادرليون * كواد سنويًا . وتنطلق هذه الإشعاعات فى الفضاء فى جميع الاتجاهات ، وتعترض الأرض حوالى $\frac{٢}{\text{بليون}}$ من قيمتها الأصلية .

وبالقرب من خط الاستواء بين خطى عرض ٣٨° شمال و ٣٨° جنوب تمتص الأرض الحرارة بصفة مستمرة . أما بالقرب من القطبين حيث تكون درجة الحرارة أقل بكثير فيوجد فقد مستمر فى الحرارة . وبالتالى فإن المحصلة تقارب الصفر .

والطاقة القادمة من الشمس تتعاظم عند طول موجى يساوى ٠,٤٨ ميكرون وتحتوى على الأشعة تحت الحمراء والمرئية وفوق البنفسجية . ويبين شكل (٣ ـ ١) كيفية توزيع هذه الطاقة . وتبلغ كمية الطاقة الشمسية التى تعترضها الأرض وجوها ٥,٤ مليون كواد سنويًا . تنعكس بعض هذه الطاقة مباشرة من الجو المحيط إلى الفضاء الخارجى كما يُمتص بعضها خلال السحب وبعضها فى الجو الصافى . ويبلغ ٩ ٪ من الطاقة الكلية سطح الأرض ولكن طوله الموجى يجعله ينعكس من سطح الأرض كما لو كان قد سقط على مرآة . وتصل ٤٧ ٪ من طاقة الـ ٥,٤ مليون كواد السنوية إلى سطح الأرض حيث تمتص .

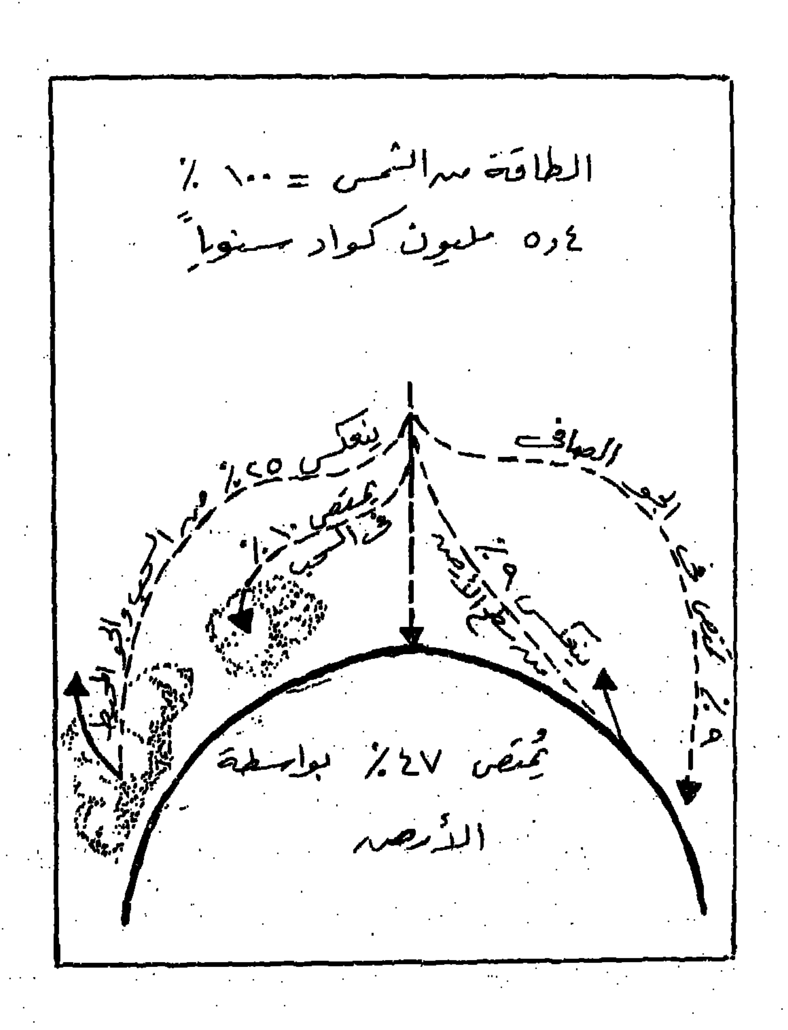
ويبين الشكل (٣ ـ ٢) الطاقة التى تترك الأرض . وكنتيجة لدرجة حرارة سطح الأرض تبلغ كمية الإشعاع من السطح حوالى ٦,٢ مليون كواد سنويًا أى ١١٥ ٪ من

---

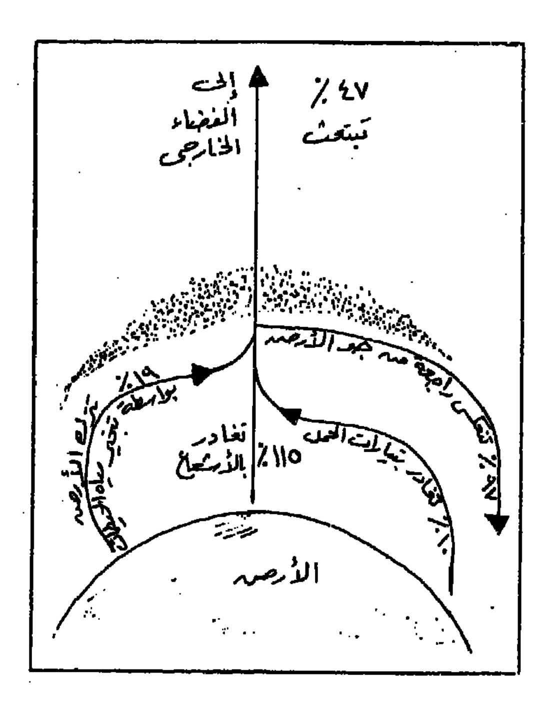
* كوادرليون = ١٠ ^١٥^ ، بليون = ١٠^٩ ، مليون = ١٠^٦ ، ألف = ١٠^٣

الإشعاع الساقط (أى من ٥,٤ مليون كواد سنويًا) . بالإضافة إلى ١٠ ٪ تترك الأرض عن طريق تيارات الحمل (التى تُحمل بعيدًا بتصاعد الهواء المسخن) و ١٩ ٪ من تبخير مياه المحيطات .

وعلى ذلك فإن الطاقة الكلية التى تترك سطح الأرض تكون أكبر بكثير من الطاقة الشمسية الساقطة . ولكن معظم هذه الطاقة تُعاق وتنعكس قافلة من الجو والسحب المحيطة وبالتالى فإن الطاقة الخارجة من الأرض تساوى الطاقة القادمة إليها وبالتالى تبقى درجة حرارة الأرض ثابتة تقريبًا .



شكل (٣ ـ ١) الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض



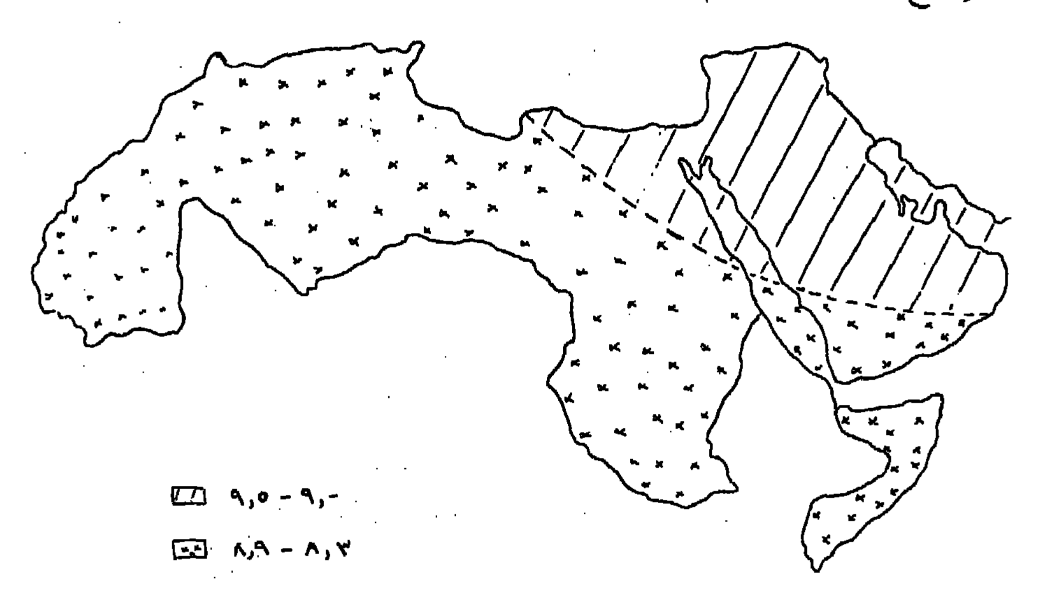
شكل (٣ ـ ٢) الطاقة الشمسية المغادرة للأرض

٣ ـ ٤ الطاقة الشمسية فى العالم العربى

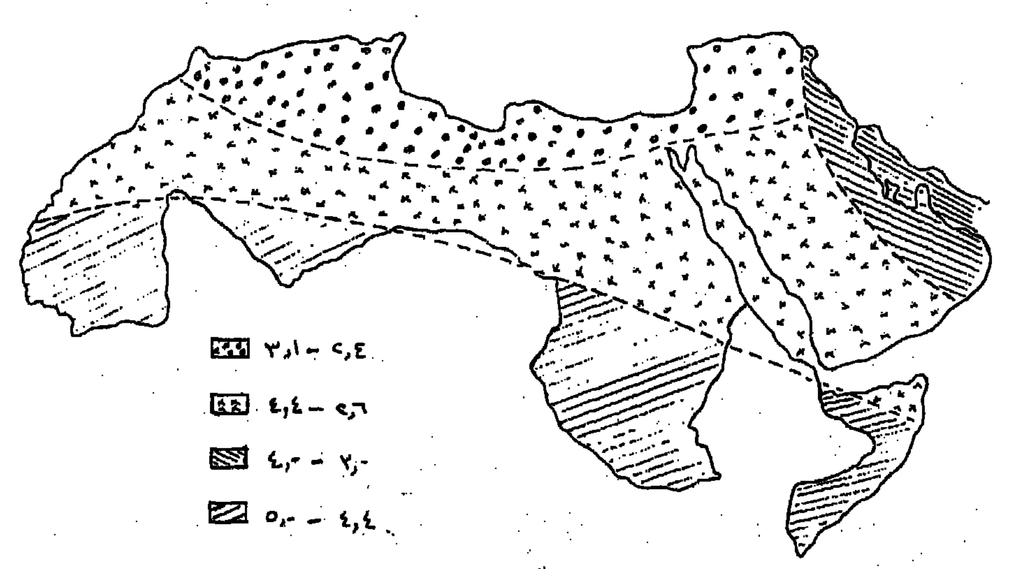
يتكون العالم العربى من إثنين وعشرين دولة تشغل منطقة جغرافية تمتد من المحيط الأطلنطى (خط طول ١٧° غرب) إلى المحيط الهندى (خط طول ٦٠° شرق) وفى الجنوب من وسط افريقيا (خط عرض ٢° شمال) إلى شاطىء البحر المتوسط الشمالى (خط عرض ٣٧,٥° شمال). أى مساحة كلية مقدارها ثلاثة عشر مليونا وسبعمائة ألف كيلو مترًا مربعًا ويبلغ عدد السكان مائة وست وستون مليونًا حسب تعداد عام ١٩٨٠.

ويبلغ المتوسط السنوى للإشعاع الشمسى الكلى الساقط على المستوى الأفقى حوالى خمسة كيلووات ساعة لكل متر مربع فى اليوم الواحد. وهذا يعنى أن الدول العربية تتلقى طاقة شمسية مقدارها ٦٨٥ × ١٠^١١ كيلووات ساعة، وهذا يعادل ٣٤,٢٥ × ١٠^٨ ميجاوات ساعة من الطاقة الكهربية إذا أستخدمت خلايا شمسية ذات كفاءة خمسة فى المائة. وهذا بالتالى يكافىء ٣٨٣,٧٥ مليون برميل بترول يوميًا أى ما يعادل عشرين ضعف إنتاج البترول لدول الأوبك OPEC مجتمعة فى الوقت الحاضر.

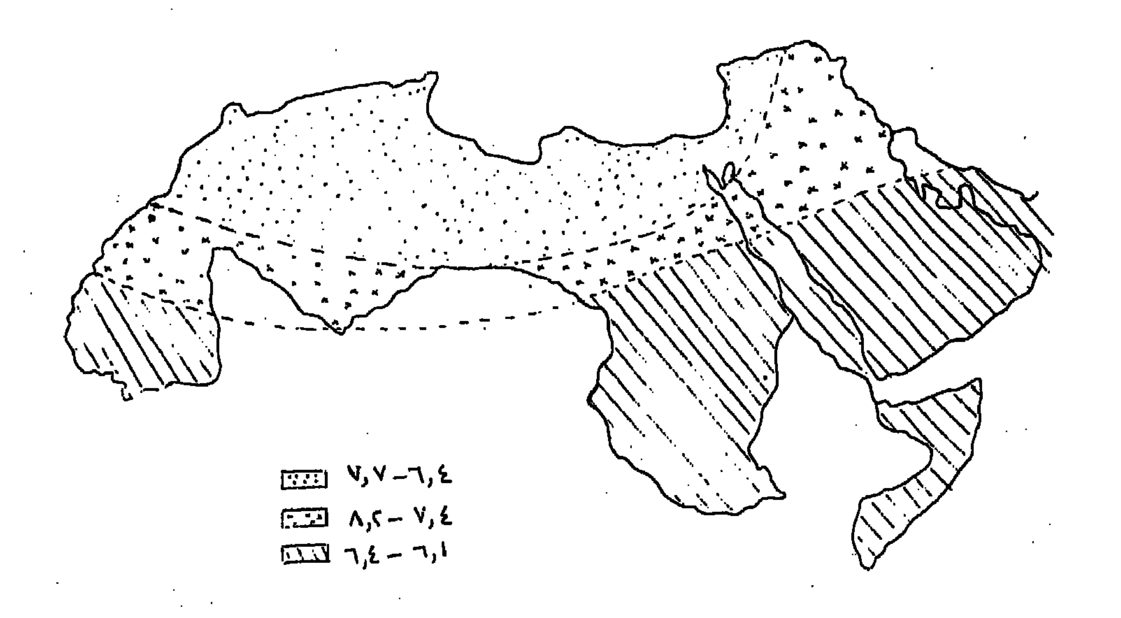
كما تقدر عدد ساعات سطوع الشمس فى معظم الدول العربية بثلاثة آلاف ساعة سنويًا . ويبين الشكل (٣ ـ ٣) المتوسط السنوى لعدد ساعات سطوع الشمس اليومية فى العالم العربى . كما توضح الأشكال (٣ ـ ٤) ، (٣ ـ ٥) ، (٣ ـ ٦) متوسط كمية الإشعاع الساقط على العالم العربى شتاءً ، وصيفًا ، والمتوسط السنوى على التوالى [٢] .



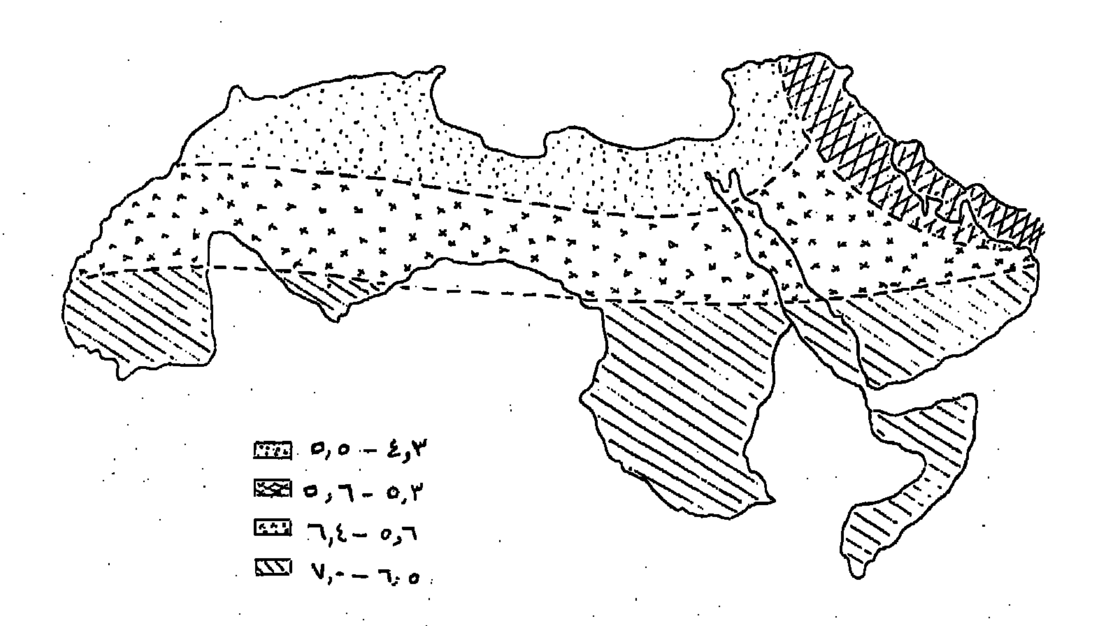
شكل (٣ـ٣) المتوسط السنوى لعدد ساعات سطوع الشمس اليومية فى العالم العربى



شكل (٣ ـ ٤) متوسط كمية الإشعاع الشمسى الكلى الساقطة على العالم العربى شتاء (كيلووات ساعة / متر مربع / يوم) .



شكل (٣ ـ ٥) متوسط الحد الأقصى لكمية الإشعاع الشمسى الكلى الساقطة على العالم العربى صيفاً (كيلووات ساعة / متر مربع / يوم) .



شكل (٣ ـ ٦) المتوسط السنوى لكمية الإشعاع الشمسى الساقطة على العالم العربى (كيلووات ساعة / متر مربع / يوم)

ومنها يتبين ضرورة الاستفادة القصوى من هذه الطاقة المجانية العملاقة التى أنعم الله سبحانه وتعالى بها علينا .

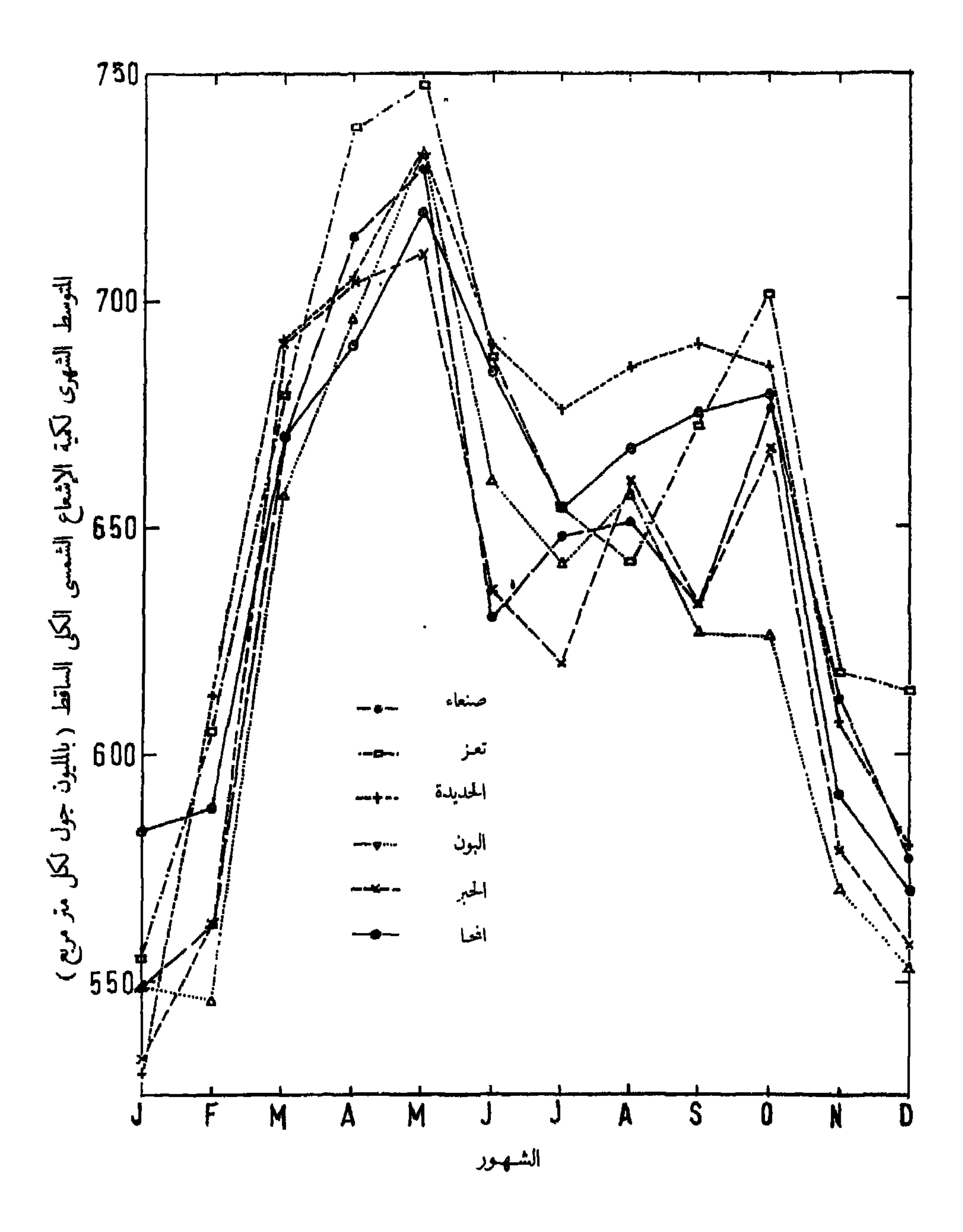
٣ـ ٥ الطاقة الشمسية فى اليمن

وتوفر الطاقة الشمسية فى اليمن واضح من نتائج قياسات كمية الإشعاع الشمسى الساقط التى أجريت فى المدن اليمنية : صنعاء وتعز والحديدة والبون والخبر والمخا . ويتم قياس كمية الإشعاع الشمسى عن طريق أجهزة بيرانو متر وبرليو متر وأكتينوجراف وداعجات ومسجلات إلكترونية لتسجيل كميات الإشعاع الشمسى المباشر والمنتشر والكلى ، كما توجد أيضًا أجهزة كامبل ـ ستوك لقياس عدد ساعات سطوع الشمس يوميًا . وتعاير هذه الأجهزة بصفة دورية وتبلغ دقة القياسات حوالى ٩٥٪ . ويبين جدول (٣ـ٣) المواقع الجغرافية للمدن اليمنية التى أجريت فيها القياسات وسنوات التسجيل الشمسى .

جدول (٣ ـ ٣)
التوزيع الجغرافى للمدن اليمنية
وزمن قياس وتسجيل النتائج

المدينة	خط العرض (درجة)	خط الطول (درجة)	الارتفاع (متر)	سنوات التسجيل: الإشعاع الشمسى	سنوات التسجيل: ساعات سطوح الشمس
صنعاء	٣١َ ١٥°	١١َ ٤٤°	٢٢١٠	١٩٧٨ ـ ١٩٨١	١٩٧٥ ـ ١٩٨٠
تعز	٣٥َ ١٣°	٥٧َ ٤٣°	١٤٠٠	١٩٧٩ ـ ١٩٨٠	١٩٧٦ ـ ١٩٨٠
الحديدة	٤٥َ ١٤°	٥٩َ ٤٢°	٣٣	١٩٧٨ ـ ١٩٨٠	١٩٧٦ ـ ١٩٨٠
البون	٤٤َ ١٥°	٥٨َ ٤٤°	٢١٠٠	١٩٧٨ ـ ١٩٧٩	١٩٧٨ ـ ١٩٧٩
الخبر	٢٣َ ٤٤°	٥٠َ ٤٤°	٢١٠٠	١٩٧٨ ـ ١٩٨٠	١٩٧٨ ـ ١٩٨٠
المخا	١٥َ ١٣°	١٧َ ٤٣°	١٠	١٩٧٨ ـ ١٩٨٠	١٩٧٨ ـ ١٩٨٠

كما تبين المنحنيات فى الشكل (٣ـ ٧) التغيرات الشهرية للإشعاع الشمسى الكلى الساقط على اليمن [٤٠،٣] . ويتضح من هذا الشكل أن أكبر كمية من الإشعاع الشمسى تسقط فى شهرى ابريل ومايو وأقلها فى موسم الأمطار فى شهرى يوليو وأغسطس .



شكل (٣ ـ ٧) التغيرات الشهرية للاشعاع الشمسى الكلى فى الجمهورية العربية اليمنيه .

ومن أبسط النماذج الرياضية التى تستخدم فى إستنتاج كمية الإشعاع الشمسى الكلى الساقط هو الذى يوضحها علاقة «بيج» ١٥١ التالية :

$$\bar{H}/H_o = a + b\,n/N$$

حيث أن $\bar{H}$ هو المتوسط الشهرى للإشعاع الشمسى الكلى الذى يسقط يوميًا على مستوى أفقى ، H_o هى كمية الإشعاع الشمسى خارج الغلاف الجوى الأرضى فى اليوم السادس عشر من كل شهر ، n المتوسط الشهرى لعدد ساعات سطوع الشمس اليومى ، N الحد الأقصى لعدد ساعات سطوع الشمس فى اليوم ، a و b ، ثابتين للمكان الواحد . والنسبة $\bar{H}/H_o$ تمثل معامل السحاب أو بصورة أدق تمثل معامل الوضوح .

٣ ـ ٦ كفاءة التحويل للطاقة الشمسية

للإستفادة من الطاقة الشمسية على الوجه الأكمل لابد من تحويلها إلى طاقة حرارية أو ميكانيكية أو كهربائية بواسطة سلسلة من العمليات تتطلب كل منها إستخدام جهاز تحويل مناسب .

وينتج عن عملية تحويل الطاقة الشمسية فقدان بعض الطاقة . بحيث لا يمكن تحويل سوى جزء محدود من الطاقة الشمسية وتطلق عبارة كفاءة التحويل على نسبة الطاقة المفيدة إلى كمية الإشعاع الشمسى الساقطة على الجهاز ويمكن تمثيلها بالمعادلة .

$$\text{كفاءة التحويل للجهاز} = \frac{\text{الطاقة المفيدة (حرارية أو ميكانيكية أو كهربائية)}}{\text{الطاقة الشمسية الساقطة على جهاز التحويل}}$$

٣ ـ ٧ الطاقة الشمسية فى خدمة الأسرة والمجتمع

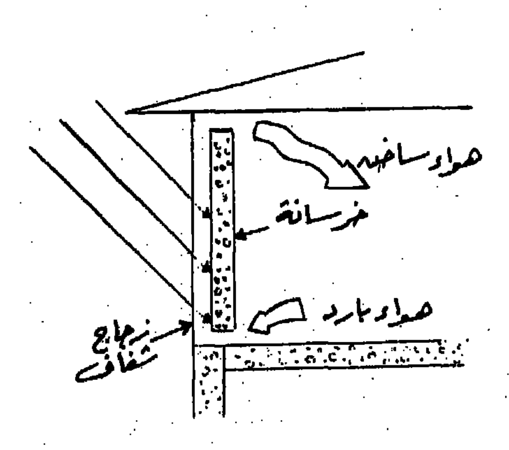
تعتبر الاستعمالات المنزلية أولى التطبيقات العملية التى يمكن استخدامها وإنتشارها بتركيبات بسيطة ونفقات زهيدة ، مثل التدفئة وتسخين الماء وتكييف الهواء والتبريد فى ثلاجات شمسية وتقطير المياه المالحة لتصبح صالحة للشرب ، وتكون فى الغالب بطريقة الصندوق الزجاجى ، فى حين يستعمل تركيز المرايا فى طهى الطعام وتجفيف الفاكهة والخضر والحصول على القوى المحركة ودرجات الحرارة العالية للصناعة . أما عملية اختزان الحرارة فى المنزل فقد أصبحت فى حيز الإمكان بطرق كيميائية وفيزيائية بسيطة للإفادة منها

فى أثناء الليل أو بعد أيام وأسابيع من إختزانها . كما تستخدم الخلايا الشمسية (الفوتوفولتية) فى تحويل أشعة الشمس إلى كهرباء بطريقة مباشرة .

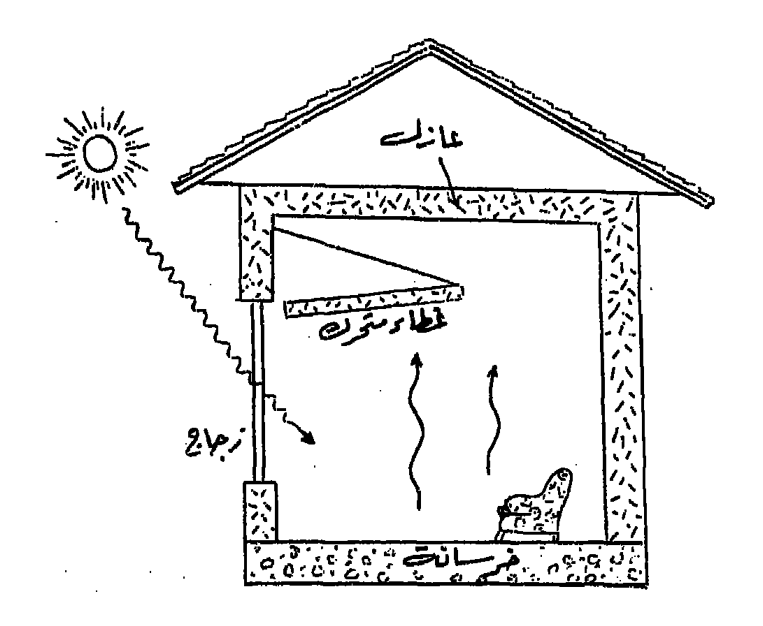
١ ـ التدفئة :

تنخفض درجة الحرارة فى الليل وفى الساعات الأولى من النهار ، خلال فصل الشتاء ، إلى حد يحتاج إلى التدفئة . وباستخدام هذه الحرارة الطبيعية التى أنعم الله بها على الانسانية خلال النهار ، يستغنى عن إستهلاك كميات من الوقود أو الكهرباء يمكن الإفادة منها فى نواح أخرى من الاقتصاد الوطنى .

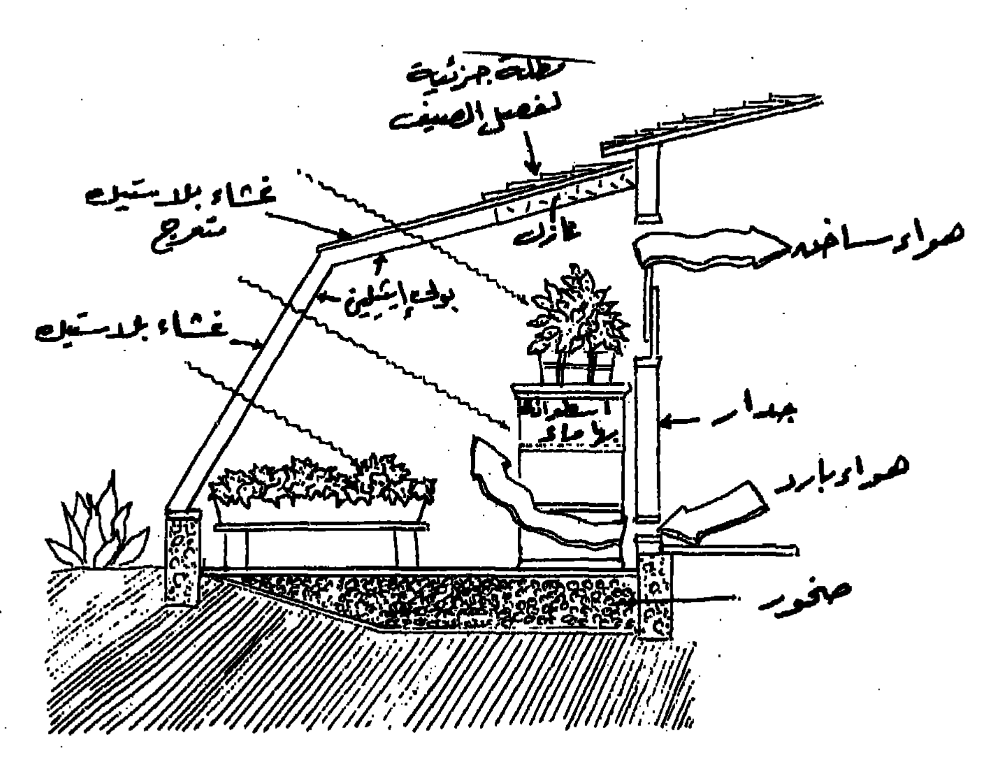
ونماذج التدفئة بالطاقة الشمسية متنوعة فمنها التدفئة المباشرة بأشعة الشمس Passive heating وفيها تصنع معظم واجهة المنزل من الزجاج الشفاف وتقابل هذه الواجهة الناحية الجنوبية فتتلقى كل أشعة الشمس الساقطة عليها من وقت شروق الشمس إلى غروبها ، ويُنفذ الزجاج أشعة الشمس إلى داخل البيت ولكن لا يسمح لها بالخروج فيصير عازلاً لكمية الحرارة المكتسبة . وعندما يحل الليل ويبرد الجو المحيط الخارجى تستخدم الحرارة المختزنة فى تدفئة المنزل دون الإحتياج إلى مصادر أخرى للطاقة وتبين الأشكال (٣ ـ ٨) ، (٣ ـ ٩) ، (٣ ـ ١٠) بعض التصاميم المختلفة لعملية تدفئة المنازل مباشرة بأشعة الشمس ، ويُطلق على هذه البيوت إسم «المنازل الشمسية» [١٦] .



شكل (٣ ـ ٨) تصميم لمنزل شمسى

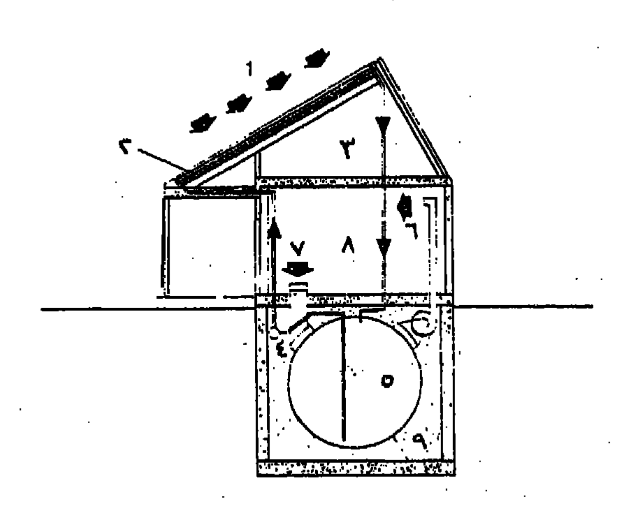


شكل (٣- ٩) تصميم لمنزل شمسى .



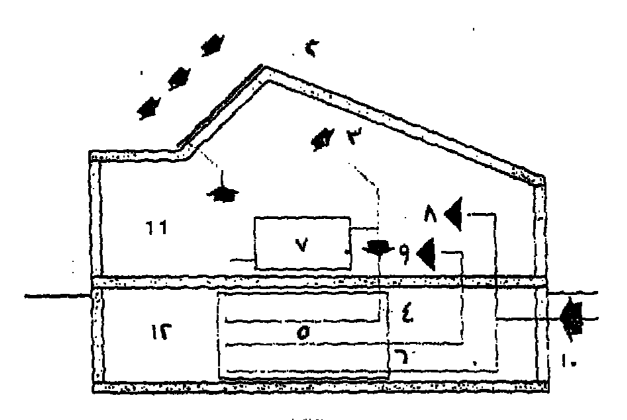
شكل (٣- ١٠) تصميم لتدفئة منزل مباشرة بأشعة الشمس ، يمكن إستغلال جزء منه لزراعة النباتات .

ويوجد نوع آخر هو الذى يستخدم جهازًا للتدفئة عبارة عن صندوق أو حوض غطاؤه من الزجاج أو البلاستيك الشفاف . أما حجمه فيتوقف على المساحة المراد تدفئتها . ويُركب على سطح المنزل مواجهًا الناحية الجنوبية . وتمر بهذا الصندوق أنابيب قد طليت من الخارج باللون الأسود المعتم حتى تمتص أكبر كمية من حرارة الشمس . وتمتد هذه الأنابيب المعدنية ناقلة الهواء أو الماء الساخن إلى غرف المنزل ، ويتحكم فى مرورها جهاز يستطيع تحويلها إلى حوض الإختزان . ويتضح ذلك من النماذج (٣ـ ١١) ، (٣ـ ١٢) ، (٣ ـ ١٣) [٧] .



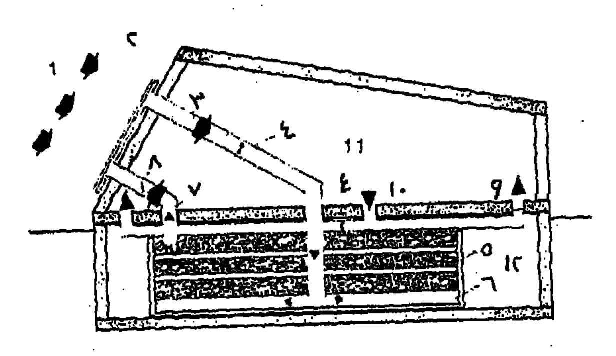
١ ـ الإشعاع الشمسى
٢ ـ مجمع شمسى لتسخين الماء
٣ ـ منطقة الحجز الحرارى
٤ ـ مضخة
٥ ـ خزان للاحتفاظ بالماء ساخناً
٦ ـ هواء ساخن لتدفئة المنزل
٧ ـ سحب الهواء
٨ ـ غرفة المعيشة
٩ ـ هواء عازل

شكل (٣ـ ١١) نظام للتدفئة باستخدام الماء المسخن .



١ ـ الإشعاع الشمسى
٢ ـ مجمع شمسى لتسخين الماء
٣ ـ ماء ساخن إلى الخزان
٤ ـ دورة التسخين الشمسى مع مبادل حرارى
٥ ـ خزان الماء الساخن
٦ ـ دورة الماء المستعمل
٧ ـ تسخين الأرضية
٨ ـ خروج الماء البارد
٩ ـ خروج الماء الساخن
١٠ ـ دخول الماء البارد
١١ ـ غرفة المعيشة
١٢ ـ القبو

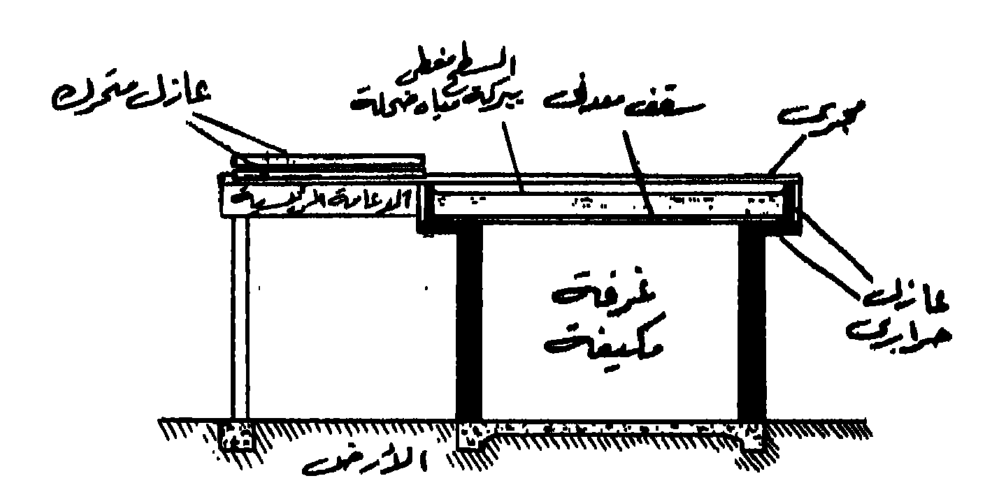
شكل (٣ ـ ١٢) تصميم آخر للتدفئة باستخدام الماء المسخن .



١ ـ الإشعاع الشمسى
٢ ـ مجمع شمسى لتسخين الهواء
٣ ـ هواء ساخن للتخزين
٤ ـ مروحـة
٥ ـ حجارة مجروشة
٦ ـ حـيز
٧ ـ رجوع الهواء البارد
٨ ـ صمام منظم
٩ ـ هواء ساخن إلى حجرة المعيشة
١٠ ـ رجوع الهواء البارد
١١ ـ غرفة معيشة
١٢ ـ قبـو

شكل (٣ ـ ١٣) نظام للتدفئة يستخدم الهواء المسخن .

توجد تقنية حديثة لتكييف جو المنزل بطريقة طبيعية أى تدفئته شتاءً وتبريده صيفًا كما هو مبين بالشكل (٣ ـ ١٤) ، وسطح هذا المنزل مصنوع من فلز موصل للحرارة ويحمل بركة ضحلة من المياه ، كما يوجد عازل متحرك يستطيع أن يغطى هذه البركة بسهولة عند اللزوم . فى فصل الشتاء ، يُزاح هذا العازل عن سطح البركة خلال ساعات سطوع الشمس حتى تسخن مياه البركة بأشعة الشمس ثم تُغطى البركة بالعازل المتحرك أثناء الليل لتحتفظ بالحرارة المختزنة فيها . وبالتالى فإن الغرف يتم تدفئتها بالحرارة المشعة من السقف الساخن . وخلال فصل الصيف تعكس هذه العملية . أى أن العازل المتحرك يُسحب بعيدًا عن سطح البركة أثناء الليل حتى يسمح للمياه أن تبرد بفعل البخر والإشعاع إلى الجو المحيط . وعند شروق الشمس يُسحب العازل المتحرك ليغطى البركة السطحية فيحجب أشعة الشمس عنها وبذلك يتم تبريد المنزل بواسطة السقف البارد .

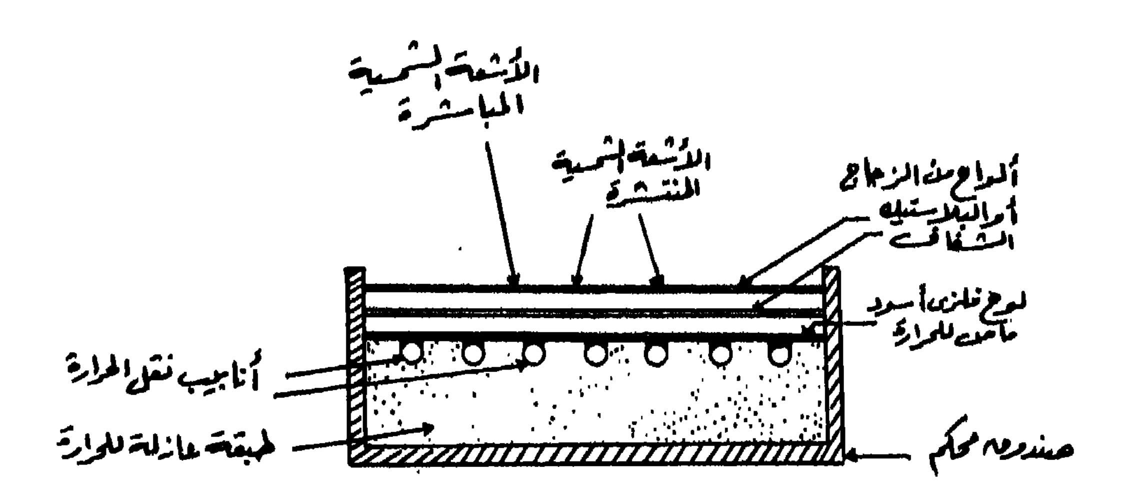


شكل (٣ ـ ١٤) تكييف جو المنزل صيفا وشتاء بطريقة البركة الشمسية السطحية .

٢ ـ تسخين المياه

يتكون الجهاز عادة من صندوق أو حوض موضوع وضعًا مائلاً بزاوية تحدد بالتجربة لإعطاء أكبر كفاءة إنتاجية ممكنة وفى الغالب تساوى زاوية خط عرض المكان latitude (أو تزيد ١٥ درجة) ، وتعزل جوانب الصندوق بمادة عازلة حتى لا يفقد الحرارة المكتسبة ، كما يصنع غالبًا من الأسمنت أو أنواع من الخشب التى تقاوم التأثيرات الجوية ، ويغطى الصندوق بعدد من الألواح الزجاجية الشفافة أو ألواح البلاستيك ، قد تكون واحد أو إثنين ، تترك بين كل منها والآخر مسافة عدة سنتيمترات

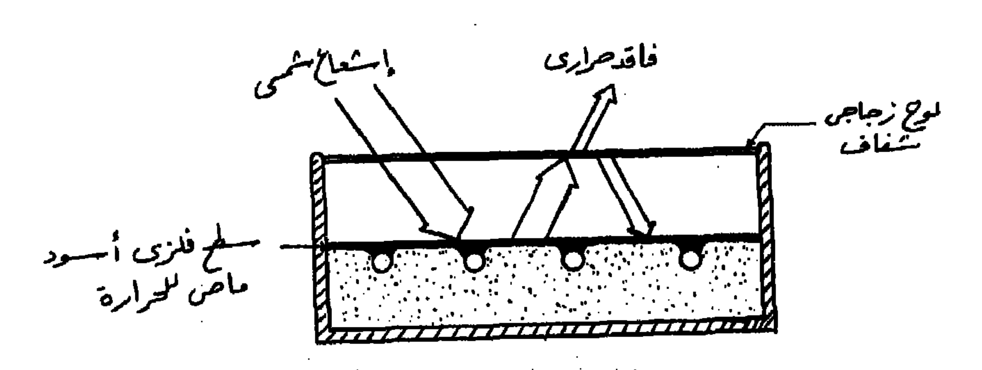
لإصطياد أكبر قدر من أشعة الشمس داخل الصندوق وفى قاع الصندوق أنابيب الماء المنثنية على شكل حلزونى . تغطى هذه الأنابيب المصنوعة من فلز جيد التوصيل للحرارة مثل الحديد المجلفن بلوح رفيق من نفس الفلز مساحته تتناسب مع حجم الإستهلاك من الماء الساخن . وتطلى الأنابيب واللوح باللون الأسود المطفى لزيادة إمتصاص الحرارة . ويُعزل السطح الخلفى للوح الفلزى والأنابيب وكافة جوانبها بواسطة عازل حرارى جيد كالأسبستوس والألياف الزجاجية . وتكون مساحة المجمع الشمسى عادة إثنين متر مربع . وتزيد المساحة أو تقل حسب نوعية الإستهلاك . ويبين الشكل (٣ ـ ١٥) التصميم العام لمثل هذه الأجهزة وتسمى بالمجمعات الشمسية (النوع المسطح) Solar Flat Plate Collectors ويطلق تعبير كفاءة التحويل للمجمع الشمسى



شكل (٣ ـ ١٥) التصميم العام للمجمعات الشمسية المسطحة .

على نسبة الطاقة الحرارية المفيدة التى يولدها المجمع إلى الطاقة الشمسية الساقطة على سطحه . وتحسب الطاقة الحرارية المولدة من المجمع الشمسى من الفرق بين الطاقة الشمسية التى يمتصها السطح الفلزى والطاقة الحرارية التى يفقدها المجمع إلى المحيط الخارجى . ويسمح اللوح الزجاجى لحوالى ٨٥ فى المائة من الأشعة الشمسية ذات الأطوال الموجية القصيرة بالوصول إلى السطح الفلزى الذى ترتفع درجة حرارته بسبب إمتصاصه لحوالى ٩٥ من المائة من الأشعة الشمسية الساقطة عليه وتتسرب الحرارة من السطح الفلزى الماص إلى المحيط الخارجى بطريقة الحمل عبر الطبقة الهوائية المحصورة بين الزجاج والسطح

الفلزى . كما أن هذا السطح يصدر إشعاعات حرارية ذات أطوال موجية كبيرة ينعكس قسم منها على الزجاج ويعود ليمتصه السطح من جديد بينما يخترق القسم الباقى اللوح الزجاجى إلى المحيط الخارجى دون الإستفادة منة فى عملية التحويل كما يتبين ذلك من شكل (٣ـ ١٦) .

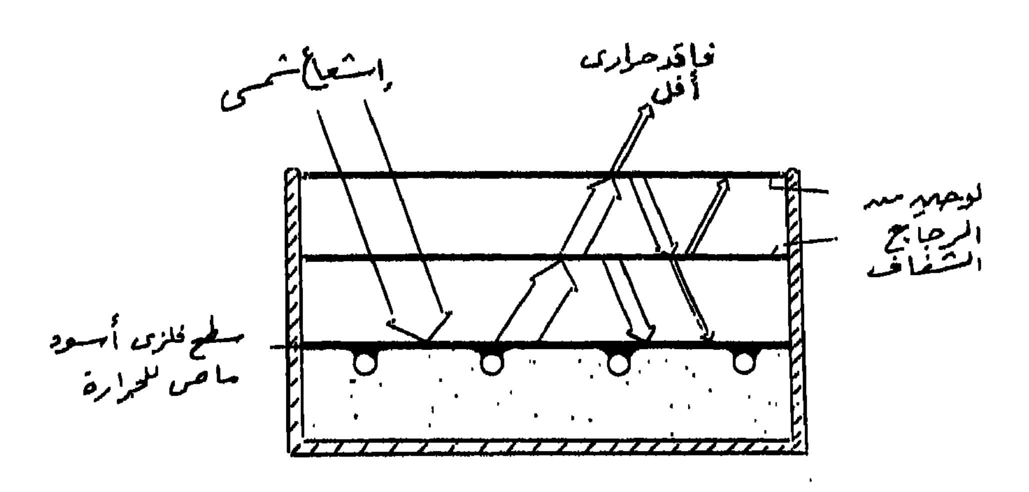


شكل (٣ـ ١٦) عمليات إمتصاص وإنعكاس وفقد الإشعاع الشمسى فى المجمع الشمسى ذو اللوح الزجاجى الواحد .

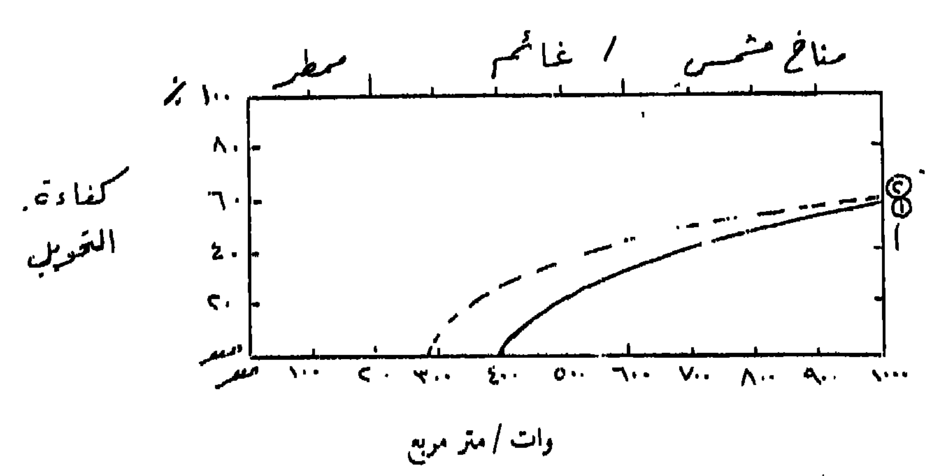
وعند زيادة حرارة عمل المجمع الشمسى تنخفض كفاءة التحويل كنتيجة لزيادة الفقد الحرارى عن طريق السطح الزجاجى إلى المحيط الخارجى . ولتحسين كفاءة التحويل له تزاد عدد الألواح الزجاجية حيث لا يسمح اللوح الزجاجى الثانى لجزء من الاشعاعات الحرارية المفقودة من اللوح الزجاجى الأول بالخروج إلى المحيط الخارجى بل تنعكس مرة أخرى لتمر إلى السطح الفلزى الماص كما يتضح ذلك من الشكل (٣ـ ١٧) .

وبإضافة لوح زجاجى ثالث ينخفض الفقد الحرارى إلى حد كبير إلا أن زيادة عدد الألواح فى طريق الأشعة الشمسية الساقطة على السطح الماص يزيد إنعكاس وإمتصاص هذه الأشعة من قبل الألواح الزجاجية المستعملة . ولقد وجد الباحثون أن زيادة عدد الألواح الزجاجية على ثلاثة لا يفيد . وفى الواقع فإن التجارب العديدة التى أجريت أثبتت أن المجمع الشمسى المسطح ذو الغطاء الزجاجى الواحد هو الأفضل لبلادنا العربية حيث أن عدد الساعات المشمسة فى السنة كبير ، بينما يمثل المجمع الشمسى ذو الغطاء المضاعف الحل الأمثل للبلاد الباردة كشمال أوروبا .

ويبين الشكل (٣ ـ ١٨) تغير كفاءة التحويل للمجمع الشمسى بعدد ألواح الزجاج المشكلة للغطاء . ويلاحظ من هذا الشكل تقارب كفاءة التحويل عندما تكون كثافة الأشعة الساقطة مرتفعة كما هو الحال فى بلادنا العربية .



شكل (٣ ـ ١٧) تقليل الفاقد الحرارى من المجمع الشمسى باستخدام لوحين زجاجيين .



وات / متر مربع

١ ـ مجمع بلوح زجاجى واحد .

٢ ـ مجمع بلوحين زجاجيين .

شكل (٣ ـ ١٨) علاقة كفاءة التحويل للمجمع مع عدد الألواح الزجاجية .

ويستعمل عادة الزجاج العادى بسمك ٣ إلى ٥ مليمتر فى المجمعات الشمسية المستخدمة فى الحياة العملية . كما يمكن فى حالة توفر بلاستيك شفاف رخيص إستعماله وهو من ناحية يتميز على الزجاج لكونه أخف وزنًا وأكثر مقاومة للكسر إلا أن البلاستيك من ناحية أخرى يفقد شفافيته نتيجة تعاقب الشمس والمطر إلى جانب أن البلاستيك يتأثر بالحرارة المرتفعة فى الصيف فيفقد إستواءه مما ينقص من كفاءة المجمع الشمسى . وبتقدم صناعة اللدائن وتطويرها سنجد أنواعًا من البلاستيك تستطيع أن تصمد للتغيرات الجوية القاسية .

وتوجد طرق أخرى لتقليل الفقد الحرارى وبالتالى تحسين كفاءة التحويل ولكنها فى معظمها غالية الثمن مثل إستعمال بعض أكاسيد المعادن كدهان شفاف للزجاج ليقلل من الإنعكاس أو عملية تفريغ المجمع الشمسى من الطبقة الهوائية المحصورة بين السطح الفلزى الماص والزجاج مما يتطلب تقنيات أكثر تعقيدًا وهى لازالت فى طور البحث والتجريب المعملى لتقليل تكاليفها وزيادة مردودها .

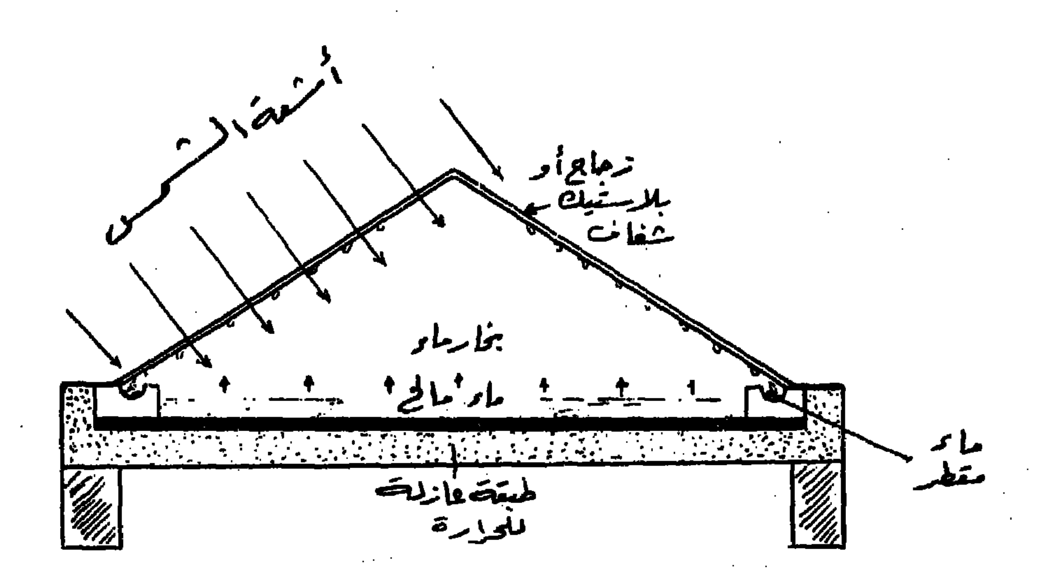
٣ ـ التقطير الشمسى

تلقى طريقة التقطير بأشعة الشمس اهتمامًا كبيرًا ، لأنها أرخص الطرق ، إذ لا تكلف شيئًا من الوقود ، فالشمس فى بلادنا ـ والحمد لله ـ مشرقة معظم أشهر السنة ، والسماء صافية ، ماعدا أيامًا معدودات تحتجب فيها الشمس وراء السحب والغيوم . إن الساعات التى تظهر فيها الشمس وترسل أشعتها على الأراضى العربية تبلغ فى المتوسط إحدى عشرة ساعة فى اليوم تقريبًا .

ولقد إتجه الإنسان منذ أقدم العصور إلى الاستعانة بالتبخير الشمسى للحصول على ملح الطعام ، كما إستعمل العدسات والمرايا المركزة لتقطير مياه البحر المالحة فى الأماكن المنعزلة على شواطىء البحار . وكان « هاردنج » أول من أقام جهازًا للتقطير بالطاقة الشمسية فى عام ١٨٧٢ للحصول على كمية من الماء العذب تكفى حاجات المئات من العمال الذين كانوا يستخرجون النترات فى «ساليناس» بشيلى . فكان يحصل على ثلاثة وعشرين طنًا من الماء العذب فى اليوم الواحد من جهازه الذى يشغل نحوًا من أربعة آلاف وثمانمائة متر مربع .

والجهاز الذى يمثل أبسط أنواع التقطير الشمسى هو أحواض صُنعت من الطوب الأحمر المغلف من الخارج بالأسمنت ، وموضوعة على الأرض . وتغطى هذه الأحواض

ألواح من الزجاج مثبتة جيدًا ، وتميل بانحدار نحو خزان لحفظ المياه العذبة . وفى الجوانب الداخلية لإطار تثبيت الألواح قنوات تسير فيها المياه بعد تكثيفها . وقد طلى قاع الحوض من الداخل باللون الأسود لإمتصاص أكبر كمية من الحرارة لتسخين مابه من ماء . وللزجاج هنا فائدة مزدوجة ، فأشعة الشمس تخترق الزجاج نحو الداخل ولا سبيل لها للخروج ثانية * وبذلك ترتفع درجة الحرارة فى الحوض والذى تغطى قاعه طبقة ضحلة من الماء تتراوح بين الأربعة سنتيمترات فى جهاز هاردنج ، وعشرة سنتيمترات أو أكثر فى الأجهزة الحديثة . أما الوجه الخارجى للزجاج الملامس للهواء فدرجة حرارته أقل منها فى داخل الحوض ، فيصطدم بخار الماء بالوجه الداخلى للزجاج ويتكثف متخذًا القنوات التى على جانبى الغطاء الزجاجى مسارًا له حتى أحواض الإختزان . ويوضح الشكل (٣ ـ ١٩) قطاع فى مقطر شمسى حتى تتبين فكرة عمله .



شكل (٣ـ ١٩) قطاع فى مقطر شمسى .

* (السبب أن أشعة الشمس الساقطة هى أشعة ذات طول موجى قصير فى حين أن الطول الموجى لموجات الحرارة التى تريد الهروب من الصندوق تكون طويلة نسبياً) .

وتعتبر العالمة الأمريكية «ماريا تلكس» من أشهر الباحثين فى ميدان الطاقة الشمسية وتصميم الآلات لإستغلالها . وكان من أوائل الأجهزة التى أعدتها جهازًا شبيهًا بمقطر «هاردنج» . بعد أن أدخلت عليه بعض التحسينات . ويتكون من عشرة مقطرات متوالية موضوعة بعضها فوق بعض . الأول منها يمتص الحرارة من أشعة الشمس فيتبخر جزء من الماء ويتكثف ، ويمد الطبقة التى تحته بالحرارة . وهذه بدورها تبخر جزءًا آخر من الماء . فتنتقل حرارته إلى الجهاز الثالث ، وهكذا حتى الجهاز العاشر . وتمتاز هذه الطريقة بأنها لا تحتاج ـ بعد فترة وجيزة ـ إلا لكمية ضئيلة من حرارة الشمس تكفى لتشغيل الجهاز الذى يستمر فى العمل ليلاً دون أية طاقة حرارية جديدة .

وصممت «ماريا تلكس» جهازًا آخر يعكس الأشعة الشمسية من مرايا مصنوعة من الألومنيوم اللامع تحيط بالحوض من جهاته الأربع تتيح جمع الإشعاعات الشمسية خلال ساعات النهار كلها .

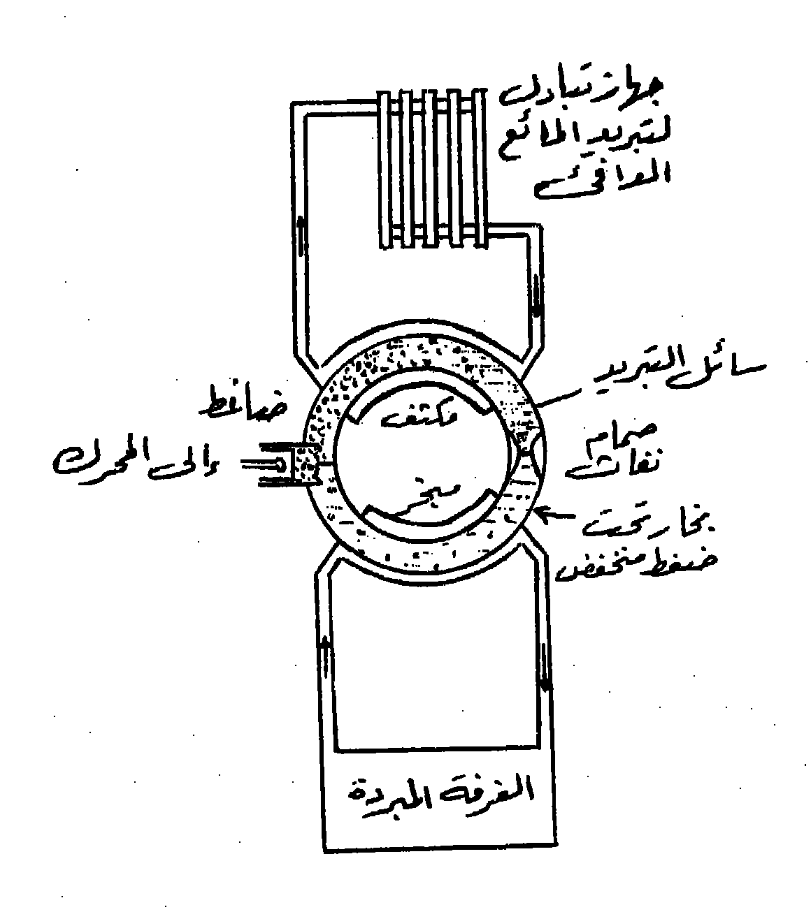
وقد كشفت الأبحاث المستمرة والمتطورة عن لدائن ثبت أنها تبز الزجاج فى مواصفاته الحرارية وأنها أقل منه ثمنًا وأكثر مقاومة للتغيرات الجوية وقد أصبح فى الإمكان إنشاء محطات تقطير شمسية كاملة من اللدائن والألواح الشفافة التى تمتص الأشعة ويطلق عليها إسم «التيفلون» . أما الأحواض فقد صنعت من المطاط الصناعى ، وصنعت الطبقة السوداء التى تغطى قاع الحوض من الألياف الصناعية لتزيد من عملية إمتصاص الأشعة وسرعة التبخير .

وعملية إمتصاص الأشعة بواسطة قاع الأحواض المغطى باللون القاتم قد تؤثر عليه الأملاح المترسبة . ولذلك تزال عنها الأملاح أولاً بأول ، ويُعاد طلاؤها فى فترات متقاربة كما يمكن أن تضاف إلى الماء صبغات كيماوية ـ مثل أخضر النافتول ـ لترفع إمتصاص أشعة الشمس إلى مائة فى المائة تقريبًا .

٤ ـ تكييف الهواء والتبريد

ومشكلة المشاكل فى الصحراء بوجه عام تلك الحرارة القاسية التى تدفع الإنسان إلى الهرب منها . لكن أشعة الشمس التى تلهب الصحراء يكمن فيها الحل الأمثل لتلك المشكلة ، انها قادرة بالفعل على تحويلها إلى جنة تجتذب الهاربين منها . ويتحقق ذلك عن طريق إستغلال الطاقة الشمسية فى تكييف الهواء وإدارة المبردات مثل الثلاجات وغيرها من أجهزة التبريد .

السائل المستخدم .. إذا سخن هذا السائل وما امتصه من غاز بضع درجات ينفصل غاز التبريد عن السائل . وبهذا يحل السائل محل المضخة . فيمتص الغاز من أنابيب الضغط . حيث يخرجه هناك بواسطة بضع درجات من الحرارة المنبعثة من الشمس . [شكل (٣- ٢١)] .



شكل (٣- ٢٠) دورة التبريد بالضغط .

والنظريات العلمية التى يمكن الإعتماد عليها فى إستغلال الطاقة الشمسية بالصحراء نظريات عديدة . فمثلا يمكن توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية عن طريق الخلايا الشمسية ــ الفوتوفولتية ــ ثم تستغل الطاقة الكهربية المتولدة فى مختلف العمليات ومنها بالطبع عملية تكييف الهواء .

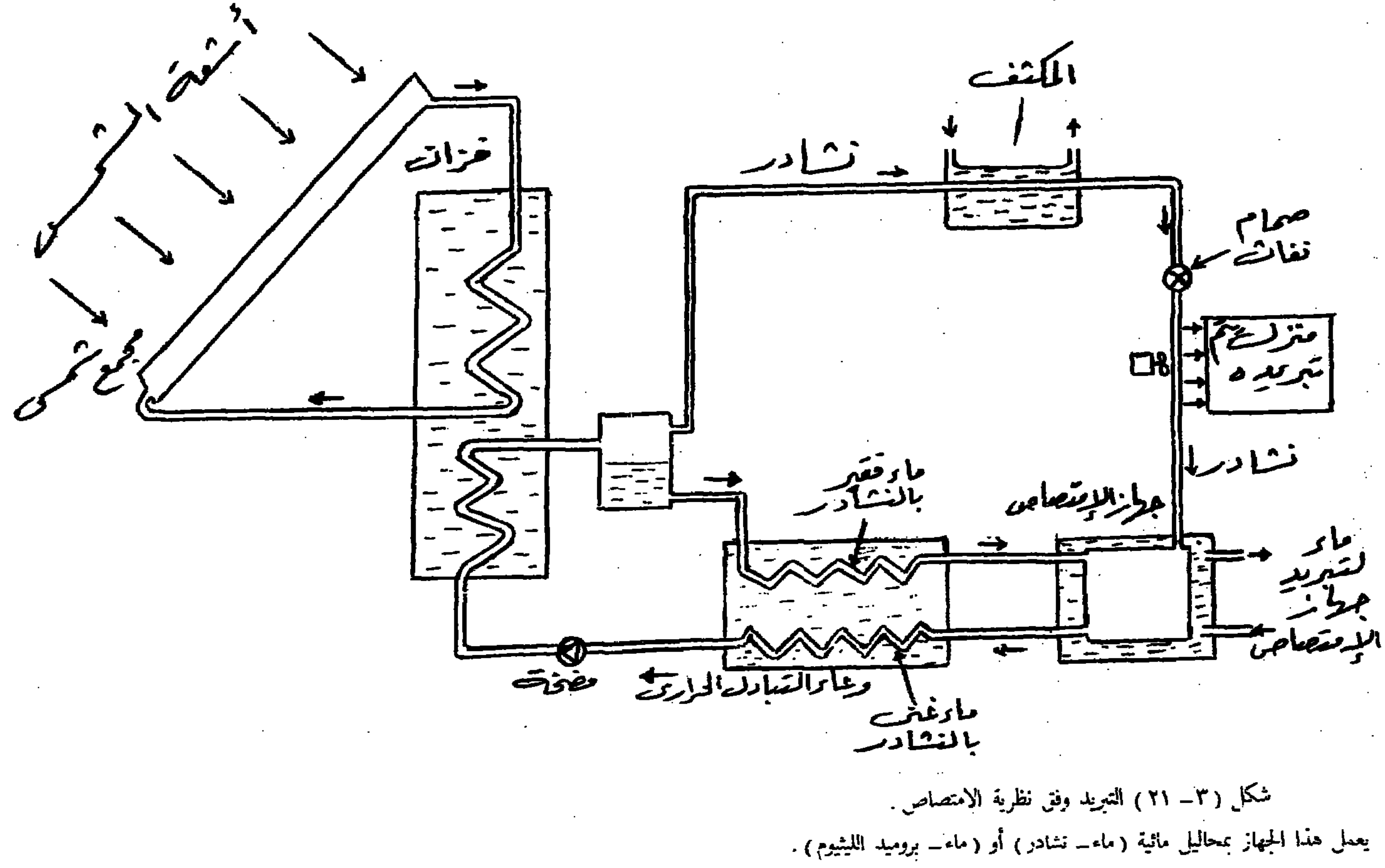
ومن أنسب التطبيقات لإستغلال الطاقة الشمسية بالصحراء فى تكييف الجو وأعمال التبريد تطبيقان مهمان : الأول مبنى على فكرة دورة الإمتصاص التى كانت تستخدم الوقود الغازى ــ قبل التفكير فى الطاقة الشمسية ــ ويمكنها الآن إستخدام الماء المسخن بالإشعاع الشمسى ، والثانى مبنى على إستخدام ما يعرف باسم دورة رانكن ، والتى تعتبر أفضل تطبيق لنظريات الديناميكا الحرارية المستخدمة فى الآلات البخارية . وإختيار هذان التطبيقان فى تكييف الهواء بالصحراء يعتمد على أساس إقتصادى بالدرجة الأولى فهما أكثر التطبيقات الموجودة رخصًا . كما أن لهما ــ فى مجال الصناعة ــ تجارب سابقة ، مما يجعل الخبرة فى صناعة الأجهزة المقترحة متوفرة بالفعل .

دورة الإمتصاص :

أما عن التطبيق الأول ، الذى يُعرف بدورة الامتصاص ، وهو التطبيق الذى يشبه إلى حد كبير إستخدام دورة الإمتصاص فى صناعة الثلاجات القائمة على إستخدام غاز البوتاجاز بدلاً من الكهرباء ، وهذا النوع من الثلاجات إنتشر إستخدامه بصورة ملحوظة منذ بداية الثلاثينات ، وحتى أواسط الخمسينات ، ثم بدأ إنتاجها يقل إلى أن إختفى تقريبًا بسبب إرتفاع تكاليف الإنتاج ولعدم الإقبال عليها نتيجة لسهولة التعامل مع الثلاجة الكهربية .

والفكرة العامة التى يبنى عليها التبريد هى تحويل أحد غازات التبريد ، مثل النشادر (قديمًا) أو الفريون (حديثًا) إلى سائل بالضغط ثم تبخيره تحت ضغط منخفض فيمتص الحرارة اللازمة للتبخير من الوسط المحيط به . وفى الطريقة التقليدية تستخدم المضخات لإعادة ضغط هذه الأبخرة لتحويلها إلى سائل مرة أخرى لتعيد الدورة من جديد . [شكل (٣ـ ٢٠)] .

أما فى نظرية الإمتصاص فيستخدم سائل له القدرة على إمتصاص غاز التبريد ، وبذلك يتحول الغاز إلى سائل بدلاً من ضغطه ولكى تتوالى الدورة لابد أن يتوفر شرط فى



شكل (٣- ٢١) التبريد وفق نظرية الامتصاص.

يعمل هذا الجهاز بمحاليل مائية (ماء- نشادر) أو (ماء- بروميد الليثيوم).

كان هذا كله بافتراض حاجتنا للتبريد والوصول إلى درجة الصفر المئوى ، وفى حالة تكييف الهواء فنحن لسنا بحاجة إلى الوصول إلى هذه الدرجة من الحرارة ولذلك فالمسألة تكون أيسر كثيرًا . وقد أقترح إستخدام الماء العادى بدلاً من غاز الفريون أو النشادر ، كذلك أقترح إستخدام سائل بروميد الليثيوم لشراهته فى امتصاص بخار الماء عند درجات الحرارة المنخفضة .

والجهاز الجديد الذى تُطبق فيه هذه الفكرة يتكون من وعاء يسمى المولد يوجد به بروميد الليثيوم المشبع بالماء ، ويمر فيه تيار من الماء المسخن بحرارة الشمس داخل مواسير التسخين وتصل درجة حرارته إلى حوالى ٩٢ درجة مئوية ، فيغلى السائل بقوة ، وتندفع السوائل ـ نتيجة الغليان ـ خلال ماسورة إلى وعاء يسمى غرفة الفصل ، تستطيع حجز بروميد الليثيوم بواسطة حواجز ، ويستمر البخار فى التصاعد . بعد ذلك يمر بروميد الليثيوم خلال ماسورة إلى مستودع ، بينما يصل البخار إلى المكثف ، وفى المكثف يمر تيار من ماء بارد خارجى يستطيع تكثيف بخار الماء ليحوله إلى سائل مرة أخرى . ويُلاحظ أن الضغط المطلق داخل المكثف يكون حوالى جزء من أربعة عشر جزءًا من الضغط الجوى أى حوالى من ٥٠ إلى ٦٠ مليمتر زئبق ، ثم يمر الماء خلال منظم إلى أنابيب التبريد حيث ينخفض الضغط إلى حوالى من ٦ إلى ٨ مليمترات زئبق . وهذا الهبوط الفجائى فى الضغط يجعل الماء يغلى عند درجة حرارة تقترب من أربعة درجات مئوية . وأنابيب التبريد هذه هى التى تستخدم لتبريد الهواء اللازم لتكييف الجو . يجمع بعض هذا الماء فى وعاء خاص، ومعظم البخار يسير إلى غرفة الإمتصاص حيث يتعرض لمحلول بروميد الليثيوم مرة آخرى فيمتصه ليعيد الدورة مرة آخرى وهكذا .

ومن المعروف أن كفاءة الإمتصاص لبروميد الليثيوم تزداد عند درجات الحرارة المنخفضة ، لذلك يمر بروميد الليثيوم خلال مستودع يقوم بتبريده جزئيًا ، ثم يُنقل بعد ذلك إلى داخل غرفة الإمتصاص حيث يتساقط فوق أنابيب التبريد لزيادة التبريد ويتم الإمتصاص والتشبع بالماء ثم يهبط السائل المشبع بالماء خلال أنبوبة إلى الجزء الخارجى للمستودع حيث يكتسب الحرارة من السائل فى المستودع الداخلى فيسخن جزئيًا ويعود إلى المولد ويكمل الدورة .

ويفضل عند تنفيذ هذا الجهاز إعداد مستودع يسخن من مصدر شمسى ، ويحتفظ به لإمداد الجهاز بالمياه الساخنة خلال الليل أو الأيام غير المشمسة .

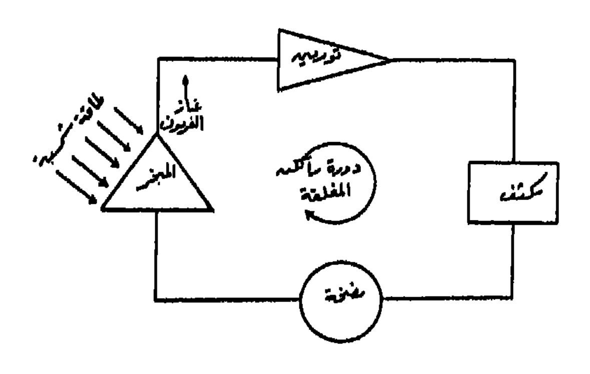
دورة رانكن المفتوحة والمغلقة :

ودورة رانكن هى احدى تطبيقات الديناميكا الحرارية . وقد أستخدمت فى كثير من الآلات . فالقاطرة البخارية صممت على أساس دورة رانكن المفتوحة . ونحن نشاهد تصاعد البخار منها ، وهذا يدلنا على أن السائل المكثف المستخدم فى هذه الآلة لا يعاد إستخدامه مرة آخرى .. ولذلك سُمى هذا التطبيق بدورة رانكن المفتوحة .

أما التطبيق المستخدم للإستفادة أثناء تشغيل القاطرة البخارية من الطاقة الشمسية فقد أستخدمت فيه دورة رانكن المغلقة . وهذا يعنى استخدام السائل المكثف مرة آخرى مع بداية الدورة الجديدة .

وفى دورة رانكن يستخدم المائع . والمائع هو الاسم الشامل للغازات والسوائل معًا . والمائع الذى أستخدم مع هذا التطبيق ـ فى الحالات الآخرى ـ كان الماء . لكن لا يتناسب مع إستخدام الطاقة الشمسية . لأن المسخنات الشمسية المستخدمة فى الجهاز المصمم لا تستطيع رفع درجة الحرارة أعلى من ٩٣ درجة مئوية . وبذلك تكون كمية البخار الناتجة غير قادرة على إدارة توربينة تعطى طاقة حركية . وكان من الممكن تعديل التصميم بحيث يُحصل على درجة حرارة أعلى من ذلك . وبالتالى تزداد كمية البخار الناتجة واللازمة لإدارة التوربينية . لكن إدخال هذا التعديل يرفع من قيمة تكاليف الجهاز ولذلك أستبدل ببخار الماء غاز «الفريون ـ ١٢» . والذى يمكن بواسطته الحصول على طاقة حركية عند هذه الدرجة من الحرارة .

ويوضح الشكل (٣ـ ٢٢) مخططًا لعمل دورة رانكن المغلقة .



شكل (٣ـ ٢٢) مخطط لعمل دورة رانكن المغلقة .

فالحرارة تنتقل إلى الغاز عن طريق الماء المسخن بالطاقة الشمسية وبعد تسخين غاز « الفريون ـ ١٢ » يدخل بخار الفريون وقد أصبحت درجة حرارته ٩٣ درجة مئوية وضغطه ٥٤ رطلاً لكل بوصة مربعة ، ويخرج بعد أن يفقد جزء من حرارته وتصبح درجة الحرارة ٦٠ درجة مئوية . ويصلُ ضغطه إلى عشرة أرطال لكل بوصة مربعة ، وتعمل التوربينية بقوة ٢ ١/٢ حصان وتصل سرعتها إلى ٥٢ ألف دورة فى الدقيقة .

واستخدام دورة رانكن فى تكييف هواء الصحراء له مميزات آخرى متعددة ، ومنها إمكانية توليد الكهرباء لإستخدامها فى مختلف شئون المنزل . وذلك عندما يكون الجو معتدلاً ولا يحتاج إلى تبريد .

ويعتبر إستغلال الطاقة الشمسية المتوفرة جدًا فى الصحراء لتكييف الهواء بها مع أعمال التبريد الآخرى . مقدمة عملية لإستغلال هذه الطاقة فى توفير حياة طبيعية لكل من يعيش بها .. وبذلك تصبح الصحراء مركزًا لجذب الإنسان إليها بعد أن ظلت منذ نشأة الخليقة مركزًا لطرد البشر منها .

٥ ـ الطهى المنزلى

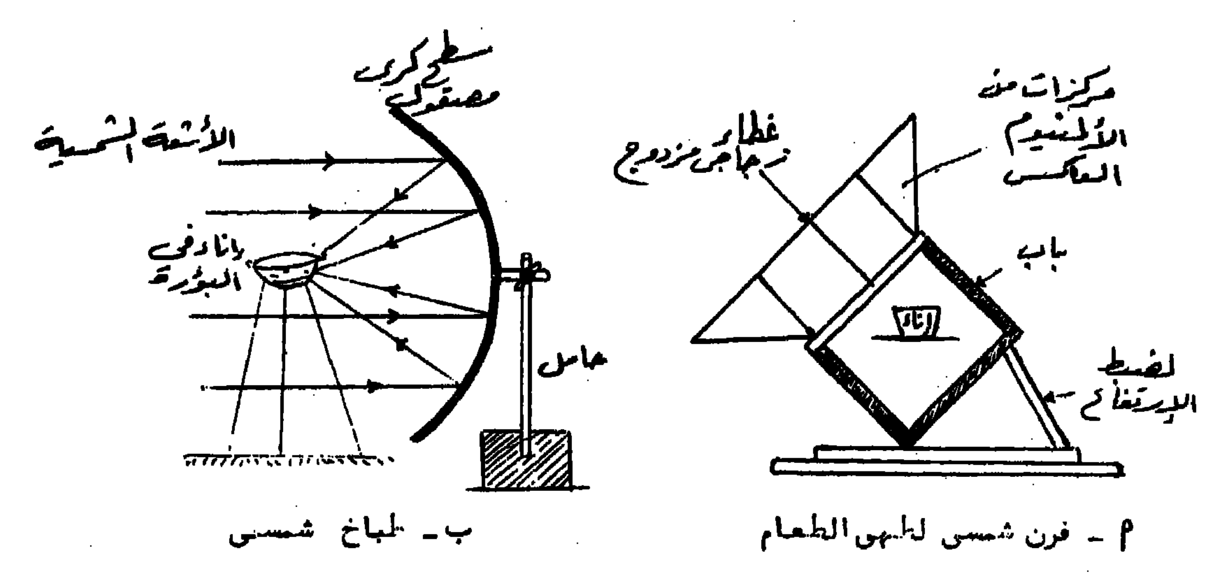
تعتبر مواقد الطهى المنزلى إحدى الصور لتركيز أشعة الشمس بالمرايا. ويعتبر «آبوت» أول من اخترع فرنًا للطهى بتركيز أشعة الشمس على أنابيب مملوءة بالزيت فى بؤرة المرايا ذات القطاع المتكافىء ، فى حين يوضع وعاء الطهى فوق تلك الأنابيب الساخنة التى ترتفع حرارتها إلى درجة عالية وتحتفظ بها مدة طويلة .

وقد أعد معهد البحوث الشمسية فى الهند فرنًا صغيرًا يتكون من شريحة دقيقة من الألومنيوم مساحة سطحها ثلاثة أمتار مربعة على هيئة مرآة مقعرة لتجميع الأشعة ، ويوضع الإناء المعد للطهى فى البؤرة بعد طلائه باللون الأسود لزيادة عملية إمتصاص الحرارة . ويبين الشكل (٣ ـ ٢٣) نموذجين للمواقد الشمسية يعملان بفكرة المركزات الشمسية .

والفرن الشمسى جهاز بسيط لا يكلف إلا ثمن صناعته . أما ماعدا ذلك ـ وهو حرارة أشعة الشمس ـ فهى فى متناول اليد دون مقابل .

كما صمم العالم «جاردنر» مُركزًا للحرارة يحتوى على عدد كبير من المرايا الصغيرة المركبة على قضبان يمكن تحريكها بحيث تتبع حركة الشمس . وإن كان هذا المركّز مرتفع الثمن عن الفرن العادى فإنه يمدنا بطاقة حرارية أكبر لا للطهى فقط ، بل من أجل تسخين الماء

والحصول على البخار ، فقد أمكن إدارة مضخة لاستخراج المياه الجوفية بجهاز يتكون من مرايا صغيرة متحركة تبلغ مساحتها ستين مترًا مربعًا .



ب ـ طباخ شمسي　　　　أ ـ فرن شمسي لطهي الطعام

شكل (٣ ـ ٢٣) نموذجان للمواقد الشمسية .

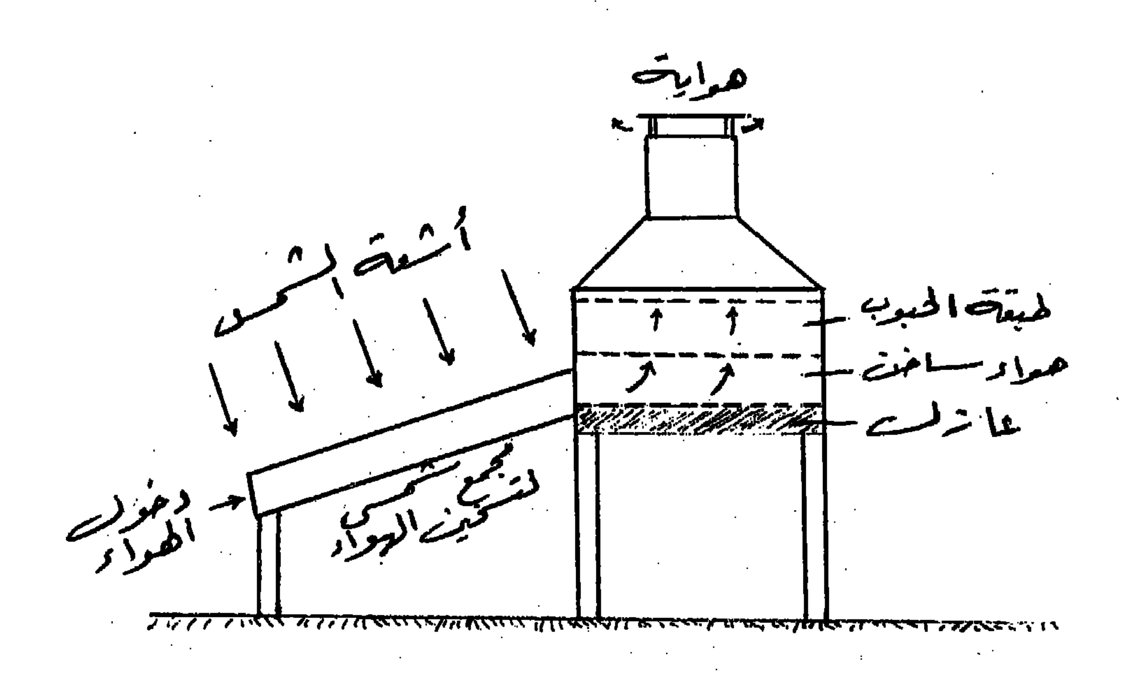
٦ ـ التجفيف

من الصناعات المهمة والمفيدة صناعة تجفيف الأغذية ، وهي صناعة جديدة ومتطورة ، وإن كانت معروفة منذ قديم الزمان . وفي عصور ماضية كان الناس يلجأون إلى التجفيف البطيء حتى تشغل الأغذية مكانًا صغيرًا ، وتبقى صالحة للأكل فترة طويلة . وقد عرف أجدادنا منذ زمن قديم طريقة تجفيف العنب والبلح والتين بأشعة الشمس . ثم تجفيف أنواع الخضروات والفاكهه المعرضة للعطب السريع ، أو التي ينتهي موسم ظهورها بعد فترة قصيرة . واليوم أصبح مجال التصدير إلى الخارج كبيرًا بزيادة الرقعة الزراعية وانتشار التصنيع الزراعي .

وتحتوي الخضروات والفواكهه على كمية كبيرة من الماء تتراوح بين ٦٥ ٪ ، ٩٥ ٪ من وزنها . والماء الذي يساعد على إستمرار العمليات الحيوية ، يساعد أيضًا على سرعة التحلل والتعفن ، فبتجفيفها تحتفظ بالجزء الأكبر مما فيها من فيتامينات وبروتينات مدة طويلة ، وبدون أن يتغير طعمها .

ومن المعروف أن لخروج الماء من الخلايا دون الإضرار بها شروطًا طبيعية وكيميائية . وعند إستهلاك الخضروات والفواكه تتبع طرق عكسية حتى تمتص خلايا الأنسجة النباتية الماء وتعود إلى طبيعتها الأولى دون أن تتأثر حيويتها ثم إن أكثرها لا يحتمل درجات الحرارة العالية . فالتجفيف الشمسي يعتبر لذلك من أحسن الطرق وأسهلها ، ولا يكاد يكلف شيئًا .

وتتنوع أجهزة التجفيف الشمسي ، ويبين شكل (٣ ـ ٢٤) قطاع فى واحد منها . وهى تعتمد فى معظمها أساسًا على مجمع شمسى عبارة عن صندوق مغطى بالزجاج الشفاف أو اللدائن وقاعه مطلى باللون الأسود لزيادة إمتصاص الأشعة الشمسية وبالتالى يسخن الهواء الذى يمر خلال أرفف توضع فوقها الحبوب أو الفاكهة أو الخضروات فيعمل الهواء الجاف الساخن على سرعة عملية التجفيف . وتوضع الأرفف بعضها فوق بعض فى شكل مائل ، فعند تبخر الماء من الثمار أو الخضروات يتكثف فى قنوات تسير إلى قاع المجمع الشمسى ، ثم إلى الخارج . وتقلل هذه الطريقة من فاقد الأغذية الناتج عن أكل العصافير لها واصابتها بالحشرات الضارة إذا تركت لتجف دون إستخدام المجففات الشمسية .



شكل (٣ ـ ٢٤) قطاع فى جهاز تجفيف شمسى .

٧ـ توليد القوى الكهربائية من الحرارة الشمسية

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية بواسطة المجمعات أو المركزات الشمسية. وتستطيع الطاقة الحرارية أن تدير محرك حرارى وبالتالى تتحول الطاقة الشمسية إلى طاقة ميكانيكية.

ولقد بدأت المحاولات العملية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة ميكانيكية عام ١٩٥٥ عندما أجرى العالم «هوتيل» تحليله الشهير على توليد القوى باستخدام المجمعات الشمسية والمحركات الحرارية التى تعمل بين ٣٨ درجة مئوية و ١٥٠ درجة مئوية. وقام «ماسون وجيراديير» عام ١٩٦٦ بإجراء التجارب على المحركات الحرارية بإستخدام المجمعات الشمسية. وفى عام ١٩٧٣ أشرف جيراديير وألكساندروف على إقامة المنشآت التنفيذية لهذه النظم فى إفريقيا.

وفى إيطاليا أُنشىء مشروع لتوليد القوى الكهربائية بطاقة خمسين كيلووات من الطاقة الحرارية الشمسية بإستخدام المرايا. وفى عام ١٩٧٩ بدأ إنتاج ثمانين كيلووات فى مدينة ديرى على شاطىء نهر النيجر على مسافة مائتين كيلو متر جنوب تيمبوكتو، ولقد أستخدمت هذه الطاقة الكهربائية فى الإنارة والرى وضخ الماء والتبريد.

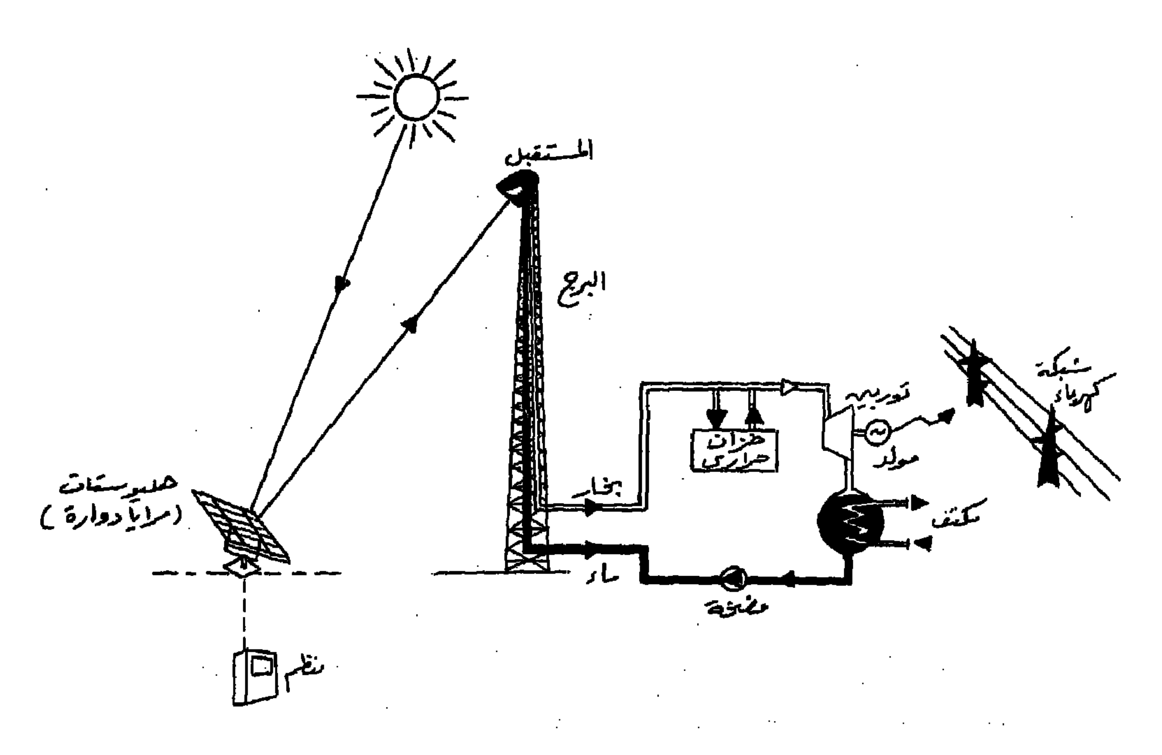
ويوجد تطبيقان أساسيان فى هذا المجال وهما:

١ ـ الأفران الشمسية وتعتمد على انعكاس أشعة الشمس من مواقع كثيرة ومركزه على مبادل حرارى واحد.

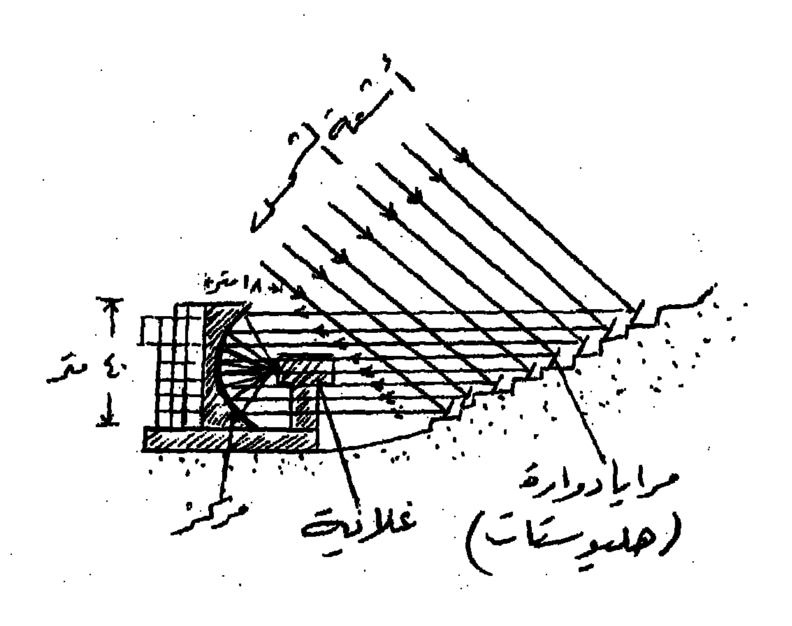
٢ ـ تجميع وتركيز الطاقة الشمسية بواسطة عاكسات مستوية تعكس الأشعة الشمسية على أنابيب طويلة لتجميع الحرارة.

ويوضح الشكل (٣ ـ ٢٥) فكرة البرج لتوليد القوى الكهربائية بما يشبه الفرن الشمسى، فتركز أشعة الشمس على غلاية موضوعة على قمة البرج التى تحتل موقع البؤرة لمجموعة كبيرة من المرايا فتنتج درجة حرارة عالية تدير توربين بخارى. وتعتمد محطة إنتاج القوى الكهربائية فى أدرانو بايطاليا على هذه الفكرة [١٨].

ومشروع آخر يعتمد على نفس النظرية ولكن بإستخدام مصفوفات من المرايا الموجهة ـ الهيلوستات (المرايا الدوارة) لتركيز أشعة الشمس على غلاية ذات فجوة بالقرب من الأرض لإنتاج بخار يدير توربين لتوليد القوى الكهربية كما يتضح من شكل (٣ ـ ٢٦).



شكل (٣ ـ ٢٥) رسم توضيحي لطريقة توليد الكهرباء بفكرة البرج.



شكل (٣ ـ ٢٦) رسم توضيحي لبيان تركيز أشعة الشمس على غلاية بواسطة المرايا الدوارة (الهليوستات).

فتسقط أشعة الشمس على نماذج الهليوستات فتنعكس وتتركز على فجوة المبادل الحرارى . وفى هذا الفرن الشمسى تُوجه أشعة الشمس فى المركز بواسطة ٦٣ هليوستاتًا مرتبة على سفح جبل ويتكون الهليوستات ذو الأبعاد (٦ × ٧ ½ متر) من ١٨٠ مرآة مفضضة أبعادها (٠,٥٠ × ٠,٥٠ متر) . ويتغير اتجاه الهليوستات تبعًا لإتجاه سقوط أشعة الشمس بطريقة آلية مبرمجة باستخدام الخلايا الضوئية . أما المركز المكافىء الدورانى (٤٠ × ٤٥ متر) فيتكون من ٩٥٠٠ مرآة مستوية مفضضة أبعادها (٠,٤٥ × ٠,٤٥ متر) . والمساحة الفعلية للمركز تكون حوالى ١٩٠٠ متر مربع . وتبلغ قدرة الإشعاع المركز ألف كيلووات مع أخذ فاقد الإنعكاس فى الحسبان . ويبلغ البعد البؤرى ١٨ مترًا فى حين تبلغ درجة الحرارة المجمعة ٤٠٠٠ درجة حرارة مطلقة . وتسمى هذه النظم والمركزات بحقول الشمس Solar Farms .

٨ ـ توليد الكهرباء مباشرة بالخلايا الشمسية (الفوتوفولتية)

من أهم إستخدامات الطاقة الشمسية هو تحويلها مباشرة إلى طاقة كهربية بواسطة الخلايا الفوتوفولتية . وتقوم هذه التقنية على توليد قوة دافعة كهربية كنتيجة لإمتصاص الإشعاع الشمسى .

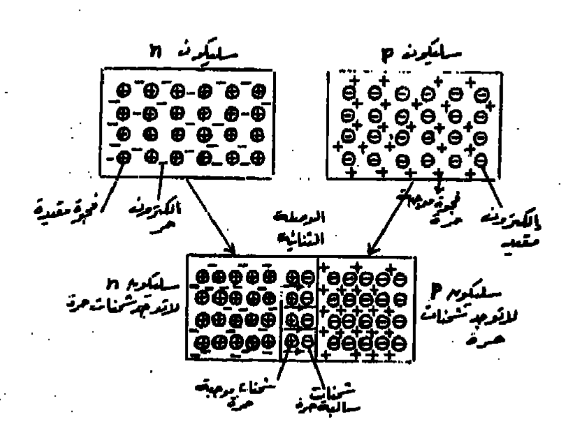
والمواد المستخدمة فى تصنيع هذا النوع من الخلايا الشمسية تسمى بالمواد شبه الموصلة . فالسليكون مادة شبه موصلة ، تحتوى كل ذرة على أربعة إلكترونات (*) فى المدار الأخير ـ كل منها مرتبطة برابطة (كيمائية) تساهمية مع إلكترون من ذرة سليكون آخرى ولا توجد إلكترونات حرة عند درجة حرارة الصفر المطلق . ويؤدى ادخال بعض ذرات عناصر المجموعة الخامسة Group V من الجدول الدورى كالفسفور أو الزرنيخ (تحتوى على خمس إلكترونات فى المدار الأخير للذرة) فى شبيكات (**) التركيب البلورى للسليكون إلى زيادة عدد الإلكترونات فى شبه الموصل هذا وتصبح سليكون n أى سليكون سالب الشحنات . هذه الإلكترونات الزائدة تكون حرة الحركة نوعًا فى الشبيكة البلورية للسليكون . ويؤدى إدخال بعض ذرات عناصر المجموعة الثالثة مثل البورون أو الألمنيوم (تحتوى على ثلاث إلكترونات فقط من إلكترونات التكافؤ) فى الناحية الأخرى من السليكون إلى نقص فى عدد الإلكترونات أى يبقى فى إحدى الروابط مكان فارغ (أى

(*) تسمى إلكترونات المدار الأخير بإلكترونات التكافؤ.

(**) شبيكة التركيب البلورى : هى التوزيع الفراغى لذرات السليكون .

فجوة) (***) مما يؤدى إلى تكوين سليكون p أى سليكون موجب الشحنات (تعتبر الفجوة موجبة بالنسبة للإلكترون السالب) أى يحتوى على فجوات حرة الحركة فى شبكة السليكون .

عندما تمتص مادة السليكون الفوتونات الشمسية تنشأ إلكترونات حرة عالية الطاقة . كما ينشأ مجال كهربى نتيجة عمل وصلة بين نوعين مختلفين فى التوصيل الكهربى من أشباه الموصلات مثل وصلة السليكون الثنائية Silicon p-n . ويؤدى هذا المجال الكهربى إلى توجيه الإلكترونات الحرة على هيئة تيار كهربى خارج السليكون لبذل شغل يُنتفع به . بعد إمتصاص الفوتونات من أشعة الشمس الساقطة تميل الإلكترونات الحرة فى النطاق n إلى الإتجاه ناحية النطاق p والفجوات الموجودة فى النطاق p تميل إلى الإتجاه ناحية النطاق n لتعويض النقص فى النوع الآخر . ويُنشىء هذا الإنتشار للشحنات المختلفة مجالاً كهربيًا E من النطاق n إلى النطاق p . ويزداد هذا المجال حتى يصل إلى قيمة إتزان الجهد Ve ، وهو مجموع جهدى الإنتشار للفجوات والإلكترونات . ويوضح الشكل (٣ ــ ٢٧) نشأة وتأثير المجال الكهربى .



شكل (٣ ــ ٢٧) مبادىء عمل الوصلة الثنائية (p-n) ــ ونشأة المجال الكهربى .

(***) الفجوة : هى عبارة عن مكان خال كان يوجد به إلكترون ، وتعتبر كأنها تحمل شحنة موجبة تماثل شحنة الإلكترون السالبة .

ويبين الشكل (٣ ـ ٢٨) الرسم التوضيحي للخلية الشمسية التي تعتمد على الوصلة الثنائية للسليكون . كما تتضح علاقة التيار الكهربي الناتج Jj وفرق الجهد V عبر الوصلة من المعادلة ١٩١.

$$Jj = J_o [\exp (Vc/kT) - 1]$$

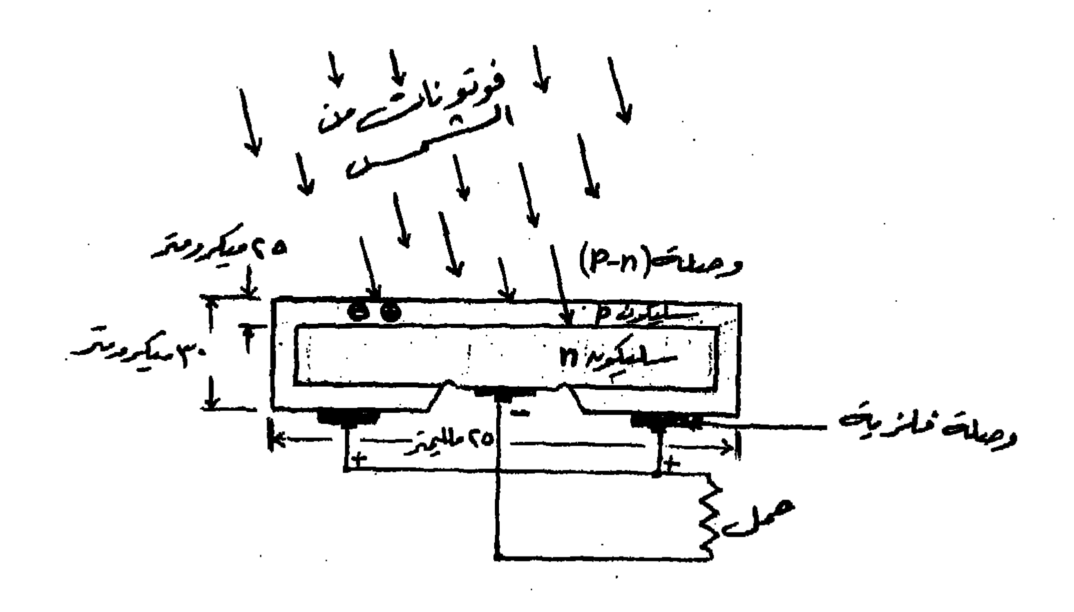
حيث c هي الشحنة الإلكترونية ، k ثابت بولتزمان ، T درجة الحرارة المطلقة ، J_o التيار الكهربي المشبع .

وعندما تسقط الأشعة الشمسية على السطح العلوى للخلية وتخترقه لتصل إلى سطح التلامس (الوصلة p-n) ، تقوم بفعل طاقة الفوتونات ( ) بتفكيك بعض الروابط الإلكترونية المجاورة لهذا السطح وتكون عددًا من الثنائيات «الكترونات ـ فجوات» ( ) وتنتقل الإلكترونات المتكونة إلى شبه الموصل n والفجوات إلى شبه الموصل p كما فى الشكل (٣ ـ ٢٩) .

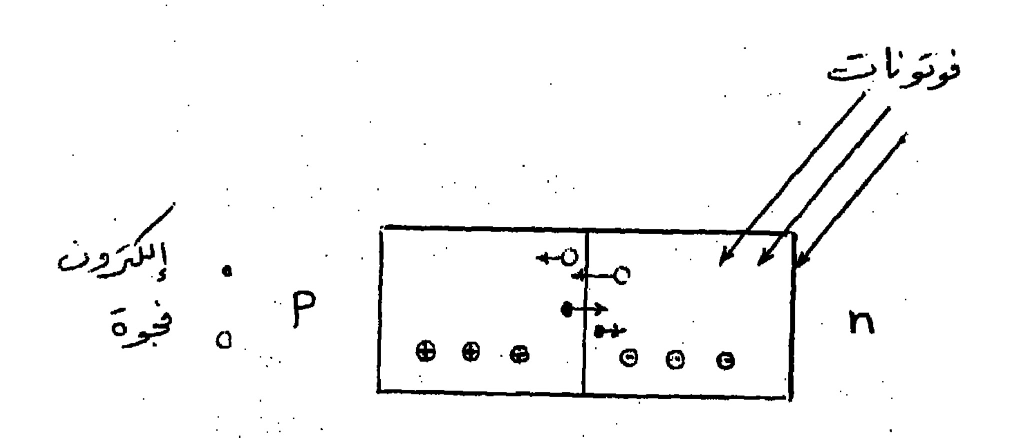
ولكى يقوم سطح التلامس بفصل الإلكترونات عن الفجوات يجب أن يتم تكونها فى مكان قريب جدًا منه أو عليه مباشرة وذلك لأنها إذا تكونت فى منطقة بعيدة عنه كالطبقات العليا من شبه الموصل n [شكل (٣ ـ ٢٨)] فإن جزءًا كبيرًا من الإلكترونات المتكونة يعود فيتحد مع الفجوات من جديد مكونًا ذرات متعادلة . إلا أنه لتشكيل الثنائيات على سطح التلامس يلزم أن تخترق الأشعة الشمسية طبقة شبه الموصل n وتصل إلى هذا السطح ويتحقق هذا بشكل مثال عندما يبلغ سمك طبقة شبه الموصل n حوالى ٠,١ إلى ٠,٣ ميكرون . بينما يبلغ سمك الخلية ككل ٣٠٠ ميكرون . وإذا وصلنا هذه الخلية من سطحيها بواسطة أسلاك معدنية ثم بالحمل المراد تشغيله (كما فى الدائرة ٣ ـ ٣٠) تنتقل الإلكترونات عبر السلك من شبه الموصل n إلى شبه الموصل p وهكذا نحصل على تيار كهربى فى السلك .

(.) الفوتون : هو عبارة عن المحتوى الطاقى لكمة الضوء . وتتناسب طاقة الفوتون مع تردده وثابت التناسب هو ثابت بلانك .

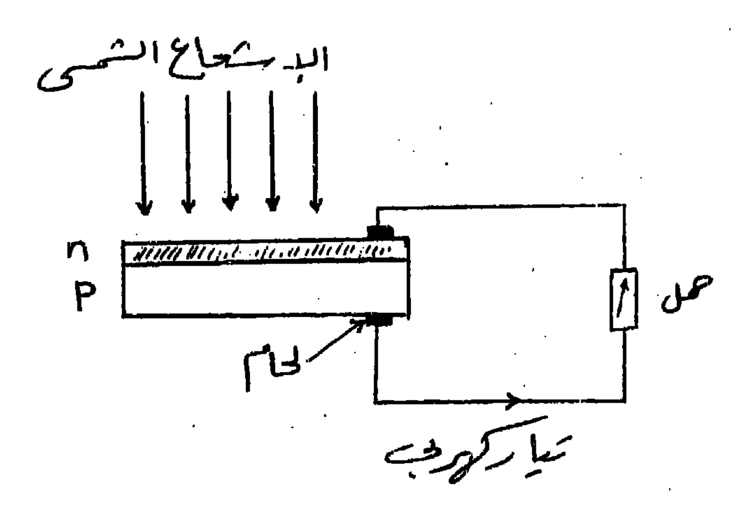
(..) تتناسب شدة التيار المتولد طرديًا مع شدة الأشعة الشمسية الساقطة عليه ويُستفاد من هذه الخاصية فى استعمال الخلايا الشمسية فى مقاييس شدة الضوء وخاصة فى آلات التصوير.



شكل (٣ ـ ٢٨) قطاع في خلية سليكون شمسية يُوضح نشأة ثنائيات (إلكترونات ـ فجوات) بواسطة الفوتونات الشمسية .



شكل (٣ ـ ٢٩) تشكل وانفصال الثنائي (إلكترون ـ فجوة) .



شكل (٣ـ ٣٠) خلية شمسية موصلة بحمل

أنواع الخلايا الشمسية

توجد أنواع عديدة من الخلايا الشمسية أهمها خلايا السليكون (أحادية البلورة والأمورفية) وخلايا كبريتيد الكادميوم وخلايا زرنيخ الجاليوم وغيرها :

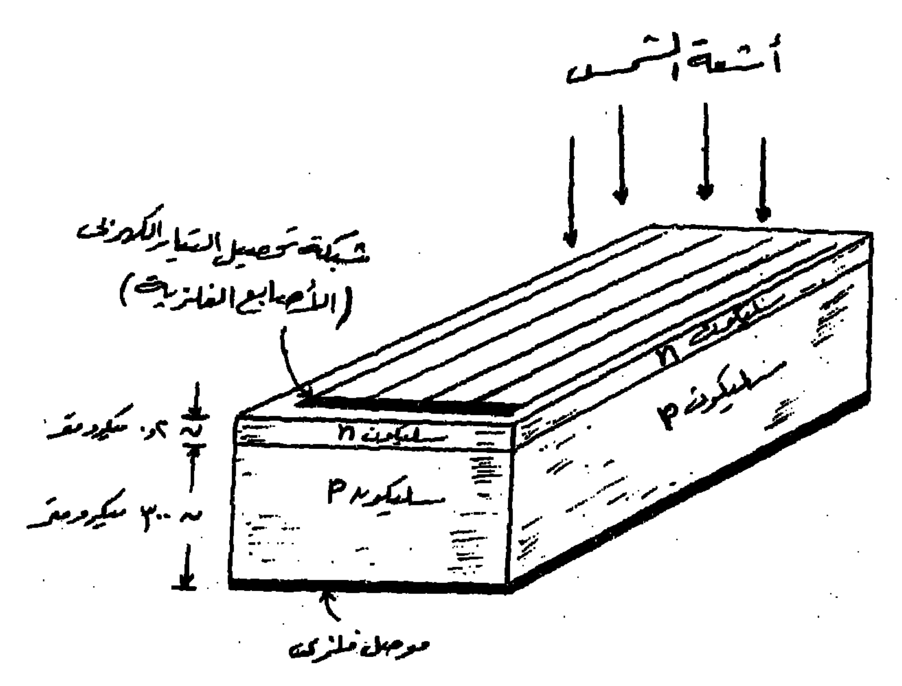
١ ـ خلايا السليكون أحادية البلورة :

هى أكثر أنواع الخلايا إنتشارًا وأكثرها تطورًا ويعود ذلك للأسباب التالية :

(أ) معظم أشباه الموصلات المستعملة فى الأجهزة الكهربية تصنع من السليكون وهذا ما أدى إلى تطوير طرق صناعتها تطويرًا كبيرًا .

(ب) معظم الأقمار الصناعية والمركبات الفضائية تستعمل هذا النوع من الخلايا . وتتألف هذه الخلايا من نوع واحد من أشباه الموصلات هو السليكون بعد أن يحول طرفه الأول إلى النوع n وطرفه الثانى إلى النوع p .

وتصنع الخلايا المستخدمة فى أغراض الفضاء على شكل مربعات أو مستطيلات تتراوح بين أربع ستيمترات مربعة إلى إثنى عشر ستيمترًا مربعًا ـ حيث يمكن رصها بجوار بعضها دون ترك أى فراغ بينها وبذلك تبلغ الإستفادة من المساحة المتوفرة حدها الأعظم . اما الخلايا التى تستخدم على سطح الأرض فتصنع على شكل دائرى بقطر يتراوح بين سنتيمترين إلى عشرة سنتيمترات . وتتراوح كفاءة التحويل (من طاقة شمسية إلى طاقة كهربية) بين ١٢ إلى ١٤ ٪ . ويوضح شكل (٣ ـ ٣١) الشكل العام لمثل هذه الخلايا .



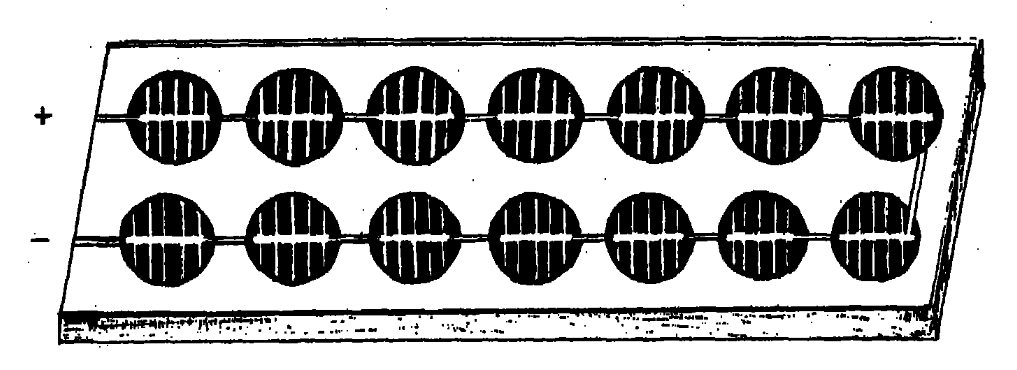
شكل (٣ ـ ٣١) الشكل العام لخلايا السليكون أحادية البلورة

والعقبة التى ماتزال تعترض إستعمال هذا النوع من الخلايا للحصول على طاقة كهربية على نطاق واسع هو الإرتفاع النسبى لتكاليف إنتاجها . وهذا لا يعود إلى ارتفاع ثمن السليكون نفسه ، فالسليكون كمادة خام متوفرة بكميات كبيرة جدًا على شكل رمال رخيصة الثمن وانما يعود بالدرجة الأولى إلى الطرق المتبعة فى تصنيع السليكون أحادى البلورة وبالتالى فى صنع الخلايا نفسها . فمعظم أشباه الموصلات السليكونية المستخدمة فى الأجهزة الإلكترونية المتنوعة أو فى مجالات أبحاث الفضاء يجب أن تبلغ نقاوة السليكون المستعمل ٩٩،٩٩٩ ٪ وهذا ما يجعل تكاليف إنتاجها مرتفع . من ناحية أخرى يتم فقدان أكثر من ٥٠ ٪ من السليكون النقى أثناء نشر البلورات الأسطوانية الشكل لصنع صفائح مربعة أو مستطيلة منها بينما لا يُفقد إلا كمية صغيرة أثناء الحصول على خلايا دائرية الشكل . والناحية الأكثر تأثيرًا فى رفع تكاليف إنتاج هذه الخلايا هو أن صناعتها تتم حاليًا على مراحل عديدة ما يزال معظمها يجرى بشكل يدوى وهذا مما يساهم فى رفع التكاليف ككل .

وتجمع الخلايا الشمسية مع بعضها فى لوحة على التوالى وعلى التوازى لزيادة تيار وجهد الخرج output وتغلف اللوحة الشمسية بالزجاج أو البلاستيك لحماية الخلايا من الأجواء المحيطة ولضمان استمرار عملها لمدة طويلة تتراوح بين ١٥ و ٢٥ سنة . ويبين شكل

(٣ــ ٣٢) لوحة فوتوفولتية تتكون من ١٤ خلية سليكون أحادية البلورة .

وتشمل الأبحاث المستمرة على خلايا السليكون الشمسية جانبين هما تحسين المردود (كفاءة التحويل) وخفض تكاليف الإنتاج . ومن حسن الحظ أن تكاليف الإنتاج فى تناقص مستمر ومع الإرتفاع المضطرد فى سعر الوقود الأحفورى نجد أن هذه الطريقة فى الحصول على الطاقة الكهربية ستصبح إقتصادية فى القريب العاجل .



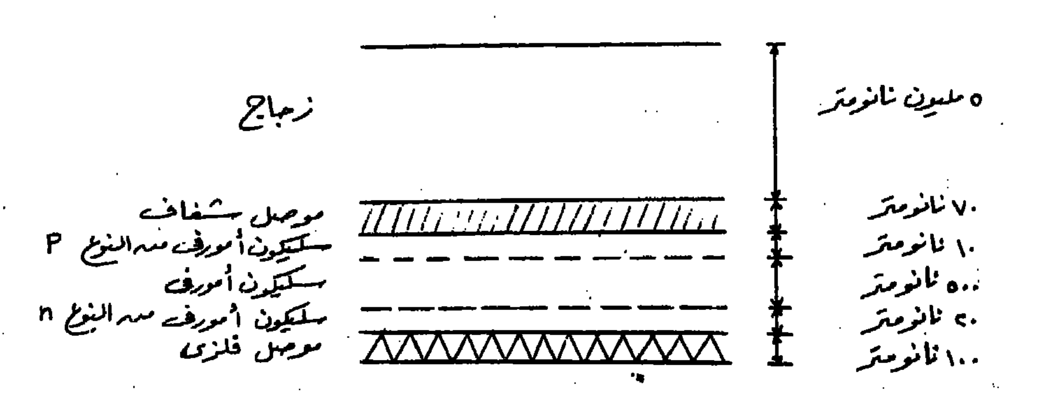
شكل (٣ــ ٣٢) لوحة فوتوفولتية تضم ١٤ خلية سليكون شمسية .

٢ ــ خلايا السليكون الأمورفى* :

رغم كفاءة التحويل المنخفضة لمثل هذه الخلايا الشمسية (٤ إلى ٦ ٪) إلا أن رخص تكاليف إنتاجها يجعلها على قمة المتنافسين مع الصنف الأول ونعتقد بأنها الأمل الحقيقى للخروج من أزمة الطاقة الراهنة ولن يمضى وقت طويل حتى نجد أن خلايا السليكون الأمورفى الشمسية قد أصبحت الأكثر مبيعاً فى العالم . والميزة الكبرى للخلايا الشمسية المصنعة من السليكون الأمورفى أنها أرخص الأنواع المعروفة من الخلايا الشمسية . وبالمقارنة بأسعار خلايا السليكون أحادية البلورة نجد أن خلايا السليكون الأمورفى تتكلف عُشر ما تتكلفه الأولى ولكن مردودها يساوى تقريبًا ثُلث مردود الخلايا أحادية البلورة [١٠٠] . ويرجع ذلك إلى أن السليكون الأمورفى يخضر من مادة أولية رخيصة الثمن هى غاز السيلين Silane gas ومادة حاملة substrate رخيصة (الزجاج) يُرسب

(*) سليكون أمورفى : أى ليس له تركيب بلورى .

عليها السليكون الأمورفى على شكل طبقات رقيقة جدًا تبلغ عدة نانو مترات (النانومتر= جزء من ألف مليون من المتر) . يبين الشكل (٣ـ ٣٣) قطاع فى خلية شمسية مُصنعة من السليكون الأمورفى .



شكل (٣ـ ٣٣) قطاع فى خلية شمسية مصنعة من السليكون الأمورفى .

٣ـ خلايا كبريتيد الكادميوم ـ كبريتيد النحاس Cd S - Cu_2S

تتألف هذه الخلايا (رباعية العناصر) من نوعين مختلفين من أشباه الموصلات . فشبه الموصل n فيها هو كبريتيد الكادميوم وشبه الموصل p هو كبريتيد النحاس . ويبلغ سمك كل منهما حوالى إثنين ميكرون وسمك الخلية ككل من عشرين إلى أربعين ميكرون أى حوالى عُشر سمك خلية السليكون وهذا ممكن بفضل ليونة هذه الخلايا وعدم قابليتها للكسر كما هو الحال فى خلايا السليكون أحادية البلورة . وكفاءة التحويل لهذه الخلايا ٦ إلى ٨ ٪ وعمرها قصير مقارنة بعمر خلايا السليكون غير المحدود ولكن تكاليف انتاجها زهيدة جدًا ولذلك فهى تجذب اهتمام الباحثين فى هذا المجال .

٤ـ خلايا زرنيخ الجاليوم Ga As

الجاليوم مادة شبه موصلة رباعية . ويكون المركب الثنائى Ga As وصلة ثنائية تعطى مجالاً كهربيًا بطريقة مماثلة لما يحدث فى خلايا السليكون الشمسية . وعلى الرغم من أن مردودها أكبر من خلايا السليكون إلا أن سعر المواد الداخلة فى التركيب وتكاليف تصنيعها تجعل إنتاج هذا النوع من الخلايا الشمسية غير إقتصادى فى الوقت الحاضر على الأقل .

وبعد فهذه أمثلة قليلة لأنواع كثيرة من الخلايا الشمسية التى تعمل بنظرية التحويل المباشر من طاقة شمسية إلى طاقة كهربية (الطريقة الفوتوفولتية) . ولازالت الأبحاث المكثفة فى كثير من بقاع الأرض توظف فى سبيل خفض تكاليف الانتاج مع تحسين المردود .

٣ ـ ٨ إختزان الطاقة الشمسية

الطاقة الشمسية مصدر متقطع يعتمد على الوقت . فالشمس ترسل أشعتها فى ساعات النهار فقط وتحجبها فى ساعات الليل ، كما أن شدة هذه الأشعة تتغير بتغير الأشهر والفصول ومدى صحو أو تلبد الجو بالغيوم وغير ذلك . وبشكل عام فإن متطلبات الإنسان أو إحتياجاته للطاقة تعتمد أيضًا على الوقت ، ولكن بأسلوب مختلف عن مصدر الطاقة الشمسية . ولذلك فإن الإستخدام المجدى والفعال للطاقة الشمسية فى الحياة العملية يحتاج إلى نظام متكامل لإختزان الطاقة للإستفادة منها وقت الحاجة . وتعتمد السعة المثالية لنظام إختزان الطاقة على العوامل التالية :

(ا) الوقت المتوقع لتوفر الإشعاع الشمسى .

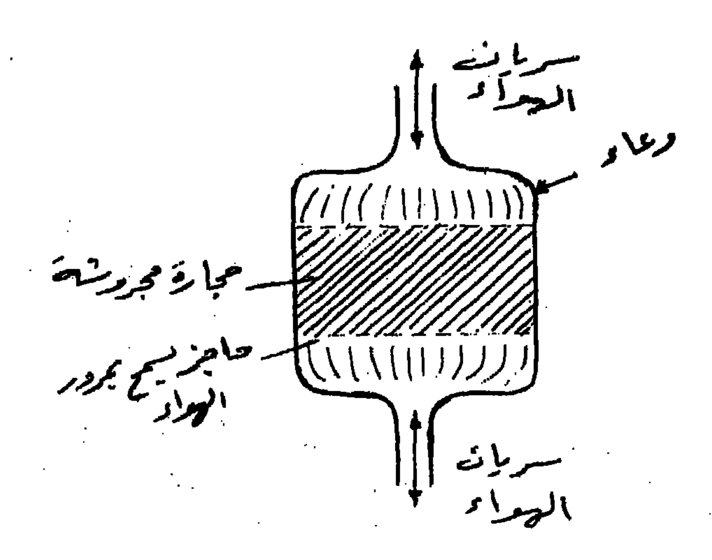
(ب) طبيعة الأحمال Loads التى تعتمد على هذا المصدر .

(جـ) نوع الطاقة المساعدة إن وجدت .

(د) التقييم الإقتصادى الذى يُحدد مقدار الطاقة الكلية المستخدمة سنويًا ومقدار الأحمال المستهلكة لهذه الطاقة وكم نسبة الإعتماد على الطاقة الشمسية وكم يستهلك من أنواع الطاقة الأخرى المساعدة .

ولقد تمكن الباحثون من إستنباط عدة طرق لإختزان الطاقة الشمسية وبذلك يختفى أكبر عائق لإستغلال هذه الطاقة العملاقة . ومن أهم هذه الطرق إختزان الحرارة فى قطع صغيرة من الحجارة المجروشة ، يمر الهواء الساخن من بينها فتنتقل إليها الحرارة لتحتفظ بها بضعة أيام ، كما فى الشكل (٣ ـ ٣٤) ، وهى أرخص الطرق وأبسطها . ويمكن كذلك بنفقات قليلة إختزان الماء الساخن فى أحواض معزولة جيدًا عن الوسط المحيط . كما نجح العلماء فى إختزان الحرارة أسابيع كاملة فى مواد كيماوية توضع فى أحواض صغيرة . وهى تجمع بذلك بين ميزة صغر حجم الخزان والإقتصاد فى النفقات . ومثال ذلك كبريتات الصوديوم المتبلور (ملح جلوبر) ، الذى يحتوى على عشر جزيئات من الماء ، يتحلل فى درجة الحرارة المنخفضة ٣٢ درجة مئوية ، وفى أثناء ذلك يمتص كميات كبيرة من

الحرارة . ثم يعيدها مرة أخرى عند تبلوره مرة ثانية. كما يعتمد اختيار وسط التخزين على طبيعة الطاقة المراد تخزينها . فإذا كانت طاقة كهربية مثل التى تنتج عن الخلايا الفوتوفولتية فإن من المناسب تخزينها على شكل طاقة كيميائية .



شكل (٣ــ ٣٤) رسم توضيحى لإختزان الحرارة بواسطة الحجارة المجروشة .

٣ــ ٩ طرق اختزان الطاقة الشمسية

يمكن خزن الطاقة الشمسية إما على شكل حرارة ظاهرة (ملموسة) sensible heat أو حرارة كامنة Latent heat . وبينما يعتمد خزن الحرارة الظاهرة على رفع درجة حرارة مادة التخزين . فإن خزن الحرارة الكامنة يمكن أن يتم على شكل تفاعل فيزيائى أو كيميائى . ويُطلق على الحالة الأخيرة إسم الإختزان الكيميائى . ومن أهم طرق الإختزان ما يلى :

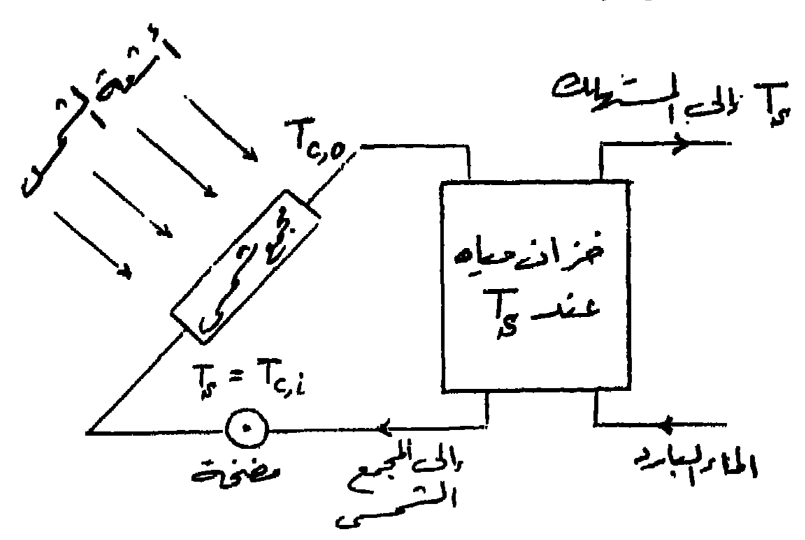
١ ــ إختزان الحرارة الظاهرة : تتضمن هذه الطريقة إستخدام مواد لا تتغير حالتها الفيزيائية (صلبة أو سائلة أو غازية) باكتساب الحرارة . فإنه من الممكن بتبريدها إلى درجة حرارتها السابقة الحصول ثانية على نفس كمية الحرارة التى أخذتها أثناء التسخين . والمعادلة الأساسية للإختزان بهذه الطريقة هى [٩] .

$$Q_s = (m\,C_p)_s\,(T_1 - T_2)$$

حيث Q_s هى الطاقة الحرارية الكلية للعملية التى حدودها الحرارية T_1 ، T_2 ، وكتلة الوسط المختزن m ، والحرارة النوعية للوسط Cp (٠) عند ثبوت الضغط .
وقدرة حجم معين V على تخزين طاقة حرارية تُعطى بالعلاقة .

$$\frac{Q_s}{V} = \rho_l Cp \, \Delta T$$

حيث ρ هى كثافة الوسط المختزن . وعلى ذلك فإن قدرة المادة على إختزان الحرارة تعتمد على حاصل الضرب ρCp ، وللماء تكون « ρCp » أكبر من أى مادة أخرى .
والمواد المستخدمة فى هذا النوع من الخزن الحرارى هى : الماء ، والحجار المجروشة ، والحديد ، وأكسيد الحديد الأحمر ، والخرسانة . ويبين الشكل (٣ ـ ٣٥) نموذج لوحدة تخزين الحرارة الظاهرة بواسطة الماء .



شكل (٣ ـ ٣٥) نموذج لإختزان الحرارة الظاهرة بواسطة الماء
تضاف الطاقة بإدارة الماء خلال المجمع الشمسى إلى الخزان
ثم تدفع إلى المستهلك .

T_s = درجة حرارة خزان الماء .

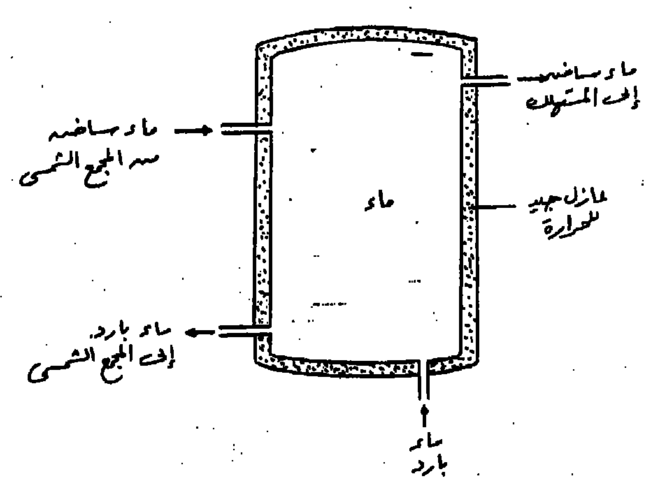
$T_{c,i}$ = درجة حرارة الماء الداخل إلى المجمع الشمسى .

$T_{c,o}$ = درجة حرارة الماء الساخن الخارج من المجمع الشمسى .

---

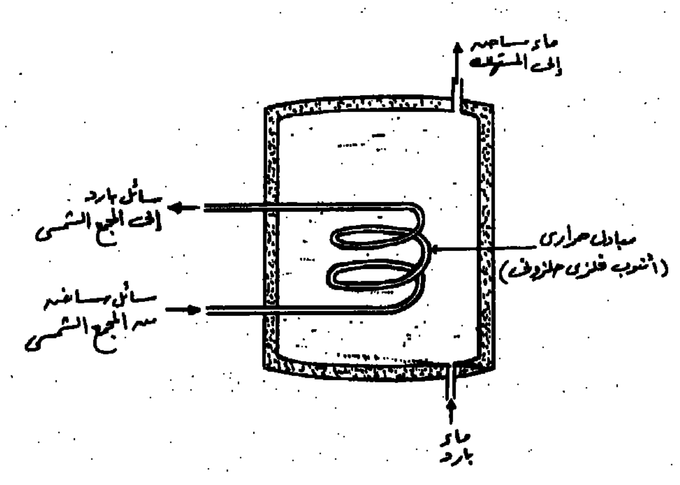
(٠) الحرارة النوعية لمادة : هى كمية الحرارة التى يمتصها متر مكعب واحد من المادة لترتفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة .

وهناك أنواع عديدة من خزانات الحرارة الظاهرة تختلف فيما بينها بطريقة بنائها وبطريقة تبادل الحرارة فيها . ويوضح الشكل (٣ ـ ٣٦) مقطع عمودى فى خزان لا يحوى مبادل حرارى . ينتقل الماء الموجود فى الخزان بإستمرار إلى المجمع الشمسى حيث يسخن فيه ويعود ثانية إلى الخزان . ولابد من إستخدام الماء فى هذا النوع من الخزانات .



شكل (٣ ـ ٣٦) مقطع فى خزان ماء لا يحوى مبادلاً حرارياً

ويوجد نوع آخر من الخزانات يحوى مبادلاً حراريًا ، ويتبين من الشكل (٣ ـ ٣٧) أحد هذه الأنواع حيث يتكون المبادل الحرارى من أنبوب فلزى حلزونى الشكل . وفى هذا الخزان لا يختلط السائل الحرارى الوارد من المجمعات الشمسية بالماء الموجود ضمن الخزان لذلك يمكن إستعمال سوائل حرارية تختلف عن الماء .



شكل (٣ ـ ٣٧) مقطع فى خزان به مبادل حرارى

٢ ـ اختزان الحرارة الكامنة

تسمى عملية تحول المادة من الحالة الصلبة إلى السائلة بالإنصهار وعكس هذه العملية تسمى بالتجمد . أما التحول من الحالة السائلة إلى الغازية فيسمى تبخير وعكسه تكثيف .

ويصحب تحول المادة من صورة فيزيائية إلى أخرى أخذ أو إعطاء طاقة من هذه المادة أو لها . ويطلق على الطاقة اللازمة لصهر كمية معينة من مادة دون تغير فى درجة الحرارة اسم الطاقة الكامنة للإنصهار . فالطاقة الكامنة لإنصهار الجليد مثلاً تساوى ٨٠ كيلو سعر لكل كجم وهذا يعنى أنه لصهر كيلو جرام واحد من الجليد عند درجة الصفر المئوى وتحويله إلى ماء فى درجة الصفر المئوى أيضًا يلزم اعطائه كمية من الطاقة تساوى ٨٠ كيلو سعر . والطاقة اللازمة لتبخير كمية معينة من مادة ما دون تغير فى درجة الحرارة تسمى بالطاقة الكامنة للتبخير .

إن الطاقة التى يكتسبها جسم ما أثناء إنصهاره مثلاً تبقى محفوظة فى هذا الجسم على شكل طاقة كامنة طالما أنه موجود بحالته السائلة . ويمكن إسترجاع هذه الطاقة بتحويل هذا الجسم من جديد من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة . والشىء نفسه يحدث عند تحول جسم ما من حالة سائلة إلى غازية ثم إلى حالة سائلة من جديد .

ومن الشروط الأساسية لإستخدام هذه الطريقة ما يلى :

(أ) تغير الحالة الفيزيائية لابد أن يكون مصحوبًا بحرارة كامنة عالية ، كما أن العملية لابد أن تكون عكسية خلال عدد كبير من الدورات دون التعرض للإنحلال .

(ب) توفر طرق مناسبة لإحتواء المادة ونقل الحرارة منها وإليها .

(جـ) أن تكون تكاليف المواد والأوعية الحاوية لها مناسبة .

ومن أمثلة المواد التى تستغل فى هذه الطريقة :

(أ) ملح جلوبر ($Na_2SO_4 . 10H_2O$) الذى يتحلل عند حوالى ٣٢ درجة مئوية معطيًا ماء وكبريتات الصوديوم مع حرارة كامنة للانصهار تقدر بحوالى ٢٤٣ كيلو جول لكل كيلو جرام (أو ٥٦ كيلو سعر لكل كيلو جرام) تبعًا للمعادلة :

ملح جلوبر المتبلور + طاقة حرارية $\rightleftharpoons$ كبريتات الصوديوم + ماء .

ويتحقق الخزن الحرارى بواسطة التفاعل من اليمين إلى اليسار بإضافة الطاقة الحرارية . وإستخلاص الحرارة المختزنة عند الحاجة يتم فى الإتجاه المعاكس خلال التفاعل من اليسار إلى اليمين . ولقد وُجد أن كفاءة هذه العملية تقل باستمرار دورات التفاعل وإنخفاض السعة الحرارية للنظام .

(ب) الماء : أكبر مقدار من الحرارة الكامنة توجد فى التحول من الحالة السائلة كماء إلى الحالة البخارية حيث يختزن ٥٤٨ كيلو سعر لكل كيلو جرام أو أقل حسب درجة الحرارة التى تتم عندها تغير الحالة . ولكن من الصعب احتواء البخار فى حيز معين . وبوجه عام فإنه من الأفضل إستغلال تغير الحالة من الصلبة إلى السائلة . والتحول من ثلج إلى ماء يعتبر نموذج ممتاز أستغل تاريخيا من أقدم العصور فى تخزين الطاقة .

كما توجد بعض العوامل الأخرى التى يجب أخذها فى الإعتبار فى طريقة التخزين الحرارى بواسطة تحول الحالة وهى التآكل corrosion ، والتفاعلات الجانبية ، والضغط البخارى ، والسُمِّية toxicity ، والتكاليف المادية .

٣ـ الإختزان الكيميائى

يمكن صنع بطارية إختزان يتم فيها إعادة توليد المتفاعل بواسطة التفاعل الكميائى الضوئى photochemical عن طريق الإشعاع الشمسى . فى هذه الحالة يعمل المحول Converter نفسه كبطارية اختزان . وتشحن البطارية فوتوكيميائيًا وتُفرغ كهربيًا عند الحاجة . وفيما يلى بعض التفاعلات المستخدمة فى إختزان الطاقة الشمسية [٨] :

$$2\,NOCl + \text{photons} \rightleftarrows 2\,NO + Cl_2$$

$$Hg_2Cl_2 + \text{photons} \rightleftarrows 2\,Hg + Cl_2$$

$$NO_2 + \text{photons} \rightleftarrows NO + \frac{1}{2}O_2$$

$$H_2O + \frac{1}{2}O_2 \overset{ZnO}{\rightleftarrows} H_2O_2$$

ومن الممكن أيضًا تحليل الماء إلى مكوناته بواسطة الطاقة الكهربية المولدة من الطاقة الشمسية ثم خزن الأكسجين والهيدروجين ، وبإعادة دمجها فى خلية وقود

Fuel cell يمكن إستعادة الطاقة الكهربية (انظر الفصل التاسع « طاقة الهيدروجين») .

٤ ـ الإختزان على شكل طاقة وضع مائية Hydro - storage

يمكن تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة وضع ثم استعادة الطاقة عن طريق سقوط المياه المختزنة لتدير توربين فتتولد الكهرباء مرة ثانية وتبلغ كفاءة التشغيل فى هذه النظم ٧٥٪ .

طريقة أخرى للتخزين الميكانيكى تتضمن ضغط الهواء وسحبه إلى خزانات طبيعية مثل الآبار المهجورة والكهوف والصهاريج المصنوعة خصيصًا لذلك ، وإطلاق سراح هذا الهواء عند الحاجة لإدارة عنفات لتوليد الكهرباء أو لتشغيل آلات .

٣ ـ ١٠ ملاحظة وتوصية

إن دول العالم الثالث غير المصدرة للبترول ، كانت أكثر دول العالم تأثرًا بأزمة الطاقة التى تزداد سوءًا يومًا بعد يوم . والطاقة الشمسية تقدم بديلاً رخيصًا لاتلوث فيه ولا نفايات نووية .. ولكن من الممكن أن تجد هذه الدول نفسها مرة أخرى تحت رحمة الدول الغربية المتقدمة إذا حاولت إستيراد التكنولوجيا المتطورة منها . وبذلك تدخل الدول النامية فى المصيدة من جديد .

ومن جهة أخرى فإن الأبحاث التى تجرى على الطاقة الشمسية تنحصر داخل نطاق الدول الصناعية والغنية . وهنا يقفز موضوع نقل التكنولوجيا الشمسية إلى الدول النامية ، ويصبح من الأهمية بحيث قد يتوقف عليه تطور الحياة وإستمرارها فى هذه الدول الفقيرة . وبالتأكيد فإن الشركات الغربية التى تنفق حاليًا ملايين الدولارات على الأبحاث الجارية لتطوير أجهزة الطاقة الشمسية سوف تجد فى الدول النامية سوقًا رحيبًا ومتعطشًا لمنتجاتها . ولكن ألا يمكن للدول النامية أن تقوم هى بنفسها بتصنيع التكنولوجيا الشمسية بدلاً من إستيرادها ؟!

إن معرفة أسرار تكنولوجيا الطاقة الشمسية هى الحل للخروج من أزمة الطاقة ، فلابد لأبناء هذه الدول من العلماء متكاتفين مع أجهزة الدولة المختلفة أن ينهضوا فى سبيل إمتلاك زمام الأمر حتى لا تجد هذه الدول نفسها مرغمة على الإعتماد على معدات الطاقة الشمسية المستوردة ، كما يستوردون فى هذه الأيام البترول ، والغاز والتكنولوجيا النووية .

إن رحلة الألف ميل تبدأ بخطوة واحدة وإعطاء الثقة لمن يستحقها من شباب هذه الأمم وعلمائها هي أول الخطوات ولابد من المحاولة .. ومن سار على الدرب وصل .

٣ ـ ١١ المراجع :

١ ـ Sunworld, V.7, No.1, pp.20, 1983

٢ ـ A.A.M. Sayigh, 'Solar Mapping of the Arab World', conference on Non-Conventional Energy Sources, 20 June 1983, ICTP, Trieste, Italy.

٣ ـ A. Khogoli, M.R.I. Ramadan, Z.E.H. Ali and Y.A. Fattah, 'Global and Diffuse Solar Irradiance in Yemen (Y.A.R.)', Solar Energy, Vol. 31, No.1, pp. 55-62, 1983.

٤ ـ M.R.I. Ramadan and A.G. EL-shekeil, 'Renewable Energy Resources for Yemen A.R., Part I: Available Resources', Accepted for Publication, April 1983, Delta J. of Science.

٥ ـ J.A. Duffie and W.A. Beckman, 'Solar Energy Thermal Processes', Wiley, New York, pp. 40, 1974.

٦ ـ R.C. Schubert and L.D. Ryan, 'Fundamentals of Solar Heating', Prentice Hall Inc., 1981.

٧ ـ P.R. Sabady, 'The Solar House', Newnes-Butterworths, 1978.

٨ ـ C.Cefaratti and J. Gretz, Eurelios, Sunworld, V.5, No.4, 1980.

٩ ـ G.D.Rai, 'Solar Energy Utilization', Khanna Publishers, 1980.

١٠ ـ Solar Energy Research Institute (SERI), Report on Photovoltaics, Sunworld, V.6, No.3, 1982.



الفصل الرابع

البرك الشمسية Solar Ponds

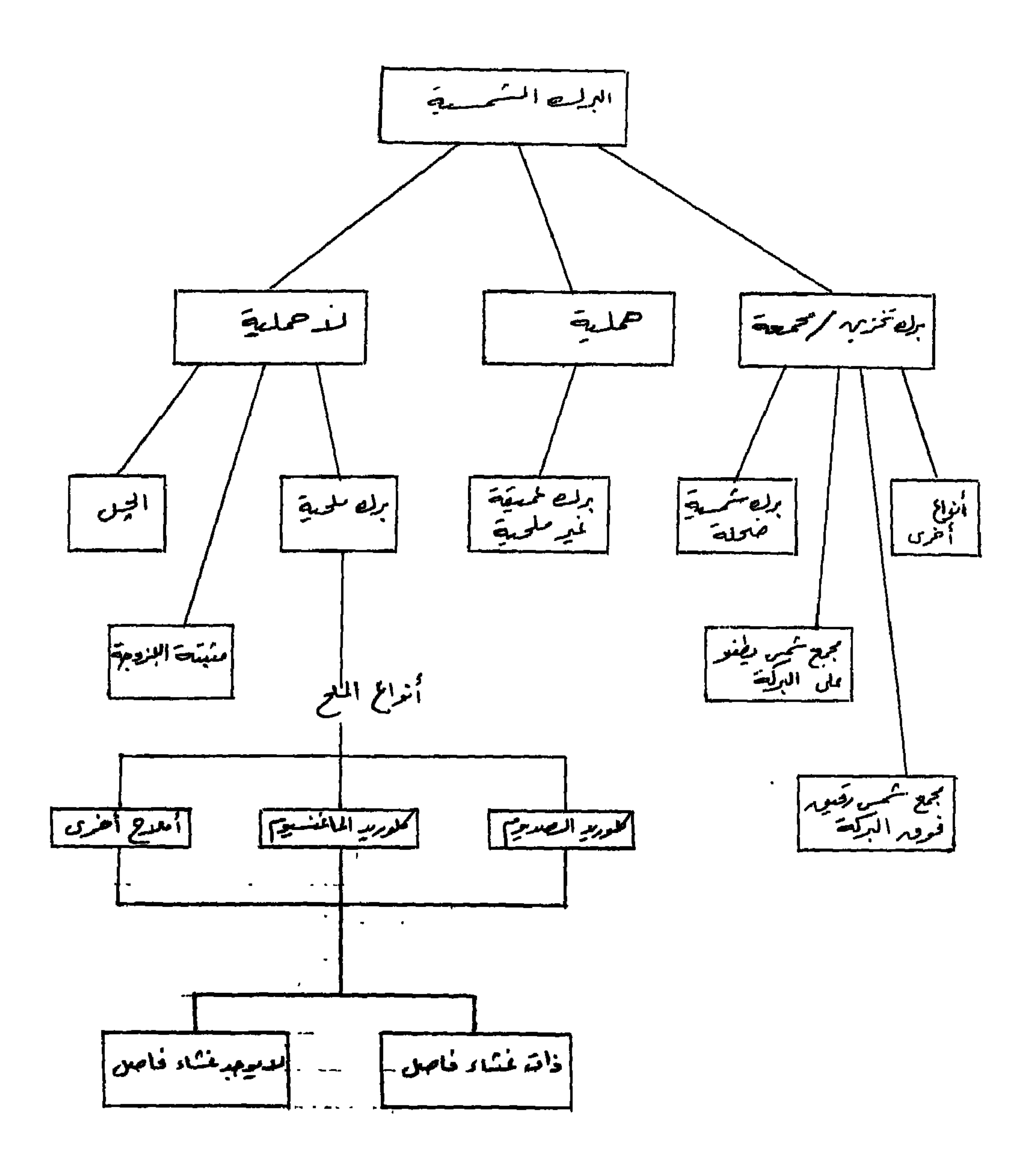
٤ ـ ١ تصنيف البرك الشمسية

إن للبرك الشمسية القدرة على إمداد العمليات الزراعية والصناعية بالحرارة اللازمة حتى ٩٠ درجة مئوية ، بتكاليف قليلة نسبياً نتيجة لإستخدام المواد الخام الرخيصة والتقنيات الهندسية المعروفة فى مجالات الإنشاء والبناء . كما أنه من الممكن إستغلالها فى المناطق النائية والمنعزلة فى توليد القوى الميكانيكية والكهربية بإستخدام المحركات الحرارية المتطورة ، وذلك بتكاليف إجمالية أقل من محركات الديزل الشهيرة .

ومن المميزات الكبرى للبرك الشمسية قدرتها على التخزين الحرارى للإشعاع الشمسى الساقط عليها . وكنتيجة للخزن الحرارى الهائل والاحتياطات المتخذة لتقليل الفقد الحرارى ـ الناتج عن تيارات الحمل أو الإشعاع من سطح البركة ـ فإن البركة الشمسية قد لاتفقد أكثر من عشر درجات مئوية فى خلال عدة أسابيع حتى فى غياب أى إشعاع شمسى يُذكر .

وتعتبر البرك الشمسية أقل تكلفة من المجمعات الشمسية المسطحة ـ التى سبق تناولها فى الفصل الثالث ـ سواء من حيث التكلفة لوحدة المساحة أو التكلفة لوحدة الطاقة الحرارية المعطاة .

يُبين شكل (٤ ـ ١) [١] مصنف مبسط لأنواع البرك الشمسية . ويتضح من هذا الشكل أننا إذا إستثنينا (البركة / المجمعة) نجد أن بقية الأنواع الأخرى تنقسم إلى (لاحملية non-convecting) و (حملية convecting) . فى النوع الأول



شكل (٤ ـ ١) تصنيف البرك الشمسية .

تُمنع تيارات الحمل الحرارى الطبيعية بواسطة إيجاد تدرج صناعى فى التركيز الملحى لمياه البركة ، أو بتثبيت اللزوجة ، أو باستخدام الجل ( ) Gel . ومن الناحية العملية التطبيقية فقد تم إختبار واستغلال البرك الشمسية متدرجة الملوحة Salt gradient solar ponds على نطاق إقتصادى واسع فى بلدان متعددة . ونتناول فى هذا المقام بشيء من التفصيل البرك الملحية الشمسية نظراً لأهميتها الإقتصادية الكبرى .

٤ ـ ٢ البرك الملحية الشمسية :

تعرف البرك الملحية الشمسية على أنها كمية من المياه الضحلة تُجمع الإشعاع الشمسى الساقط عليها وتختزنه على شكل طاقة حرارية . فعندما يكون تركيز الملح كبيراً بالقرب من القاع ويقل التركيز فى طبقات الماء الأعلى ويكون قاع البركة داكناً أو أسود اللون يمتص الإشعاع الشمسى وتسخن طبقات المحلول الملحى المركز بالقرب من القاع ، وهذا الماء المسخن لايستطيع أن يصعد خلال طبقات المحلول الأقل تركيزا فيعمل الأخير كعازل حرارى . وعلى ذلك تُخزن الحرارة قُرب القاع . وتبلغ درجات الحرارة التى يمكن الحصول عليها بهذه التقنية من ٦٠ إلى ٩٠ درجة مئوية . ويستطيع هذا المشروع أن ينتج طاقة خلال الليل وفى فصل الشتاء كما فى ساعات النهار . ويُنتج المشروع الأمريكى المقام فى كاليفورنيا والذى يعتمد على هذه التقنية حوالى ٥٠٠ مليون وات ساعة وهى طاقة تكفى حوالى المليون من البشر [٢] .

وفكرة البرك الملحية معروفة منذ زمن بعيد فقد كتب أندرسون (سنة ١٩٥٨) عن بركة فى أروفيل بولاية واشنطن التى تبلغ درجة الحرارة فيها ٥٠ درجة مئوية عند عمق مترين . كما كتب ويلسون ، ويلمان (سنة ١٩٦٢) عن بحيرة فاندا بأنتركتيكا Antarctic ، التى بلغت فيها درجة الحرارة قرب القاع (على عمق ٧٠ متر) ٢٥ درجة مئوية فى حين كانت درجة حرارة الجو (— ٢٠) ويغطى الثلج سطح البحيرة .

٤ ـ ٣ النظرية العلمية للبرك الملحية الشمسية :

فى المحيطات ، يُمتص الإشعاع الشمسى الساقط فى طبقات الماء العليا فى حين أن المياه العميقة تكون أبرد وذلك نتيجة للتيارات القطبية الباردة . ولكن على العكس فى حالة

( ) الجل : مادة هلامية أو صلبة تتشكل من محلول غروانى .

البرك الضحلة أى ذات العمق بين متر إلى مترين والقاع الأسود أو الداكن نجد أن الإشعاع الشمسى يخترق الماء ويُمتص عند القاع وترتفع درجة حرارة ماء القاع . وتسبب الطفوية فى الحال إرتفاع الماء الساخن إلى السطح حيث يفقد الحرارة إلى الجو الخارجى . ولكن إذا كان الماء عند قاع البركة أثقل من ماء السطح فإن الماء الثقيل الساخن يمكث فى القاع محتفظا بحرارته . وهذا التدرج فى الكثافة يمنع تيارات الحمل وعلى ذلك يبقى الماء المسخن عند القاع .

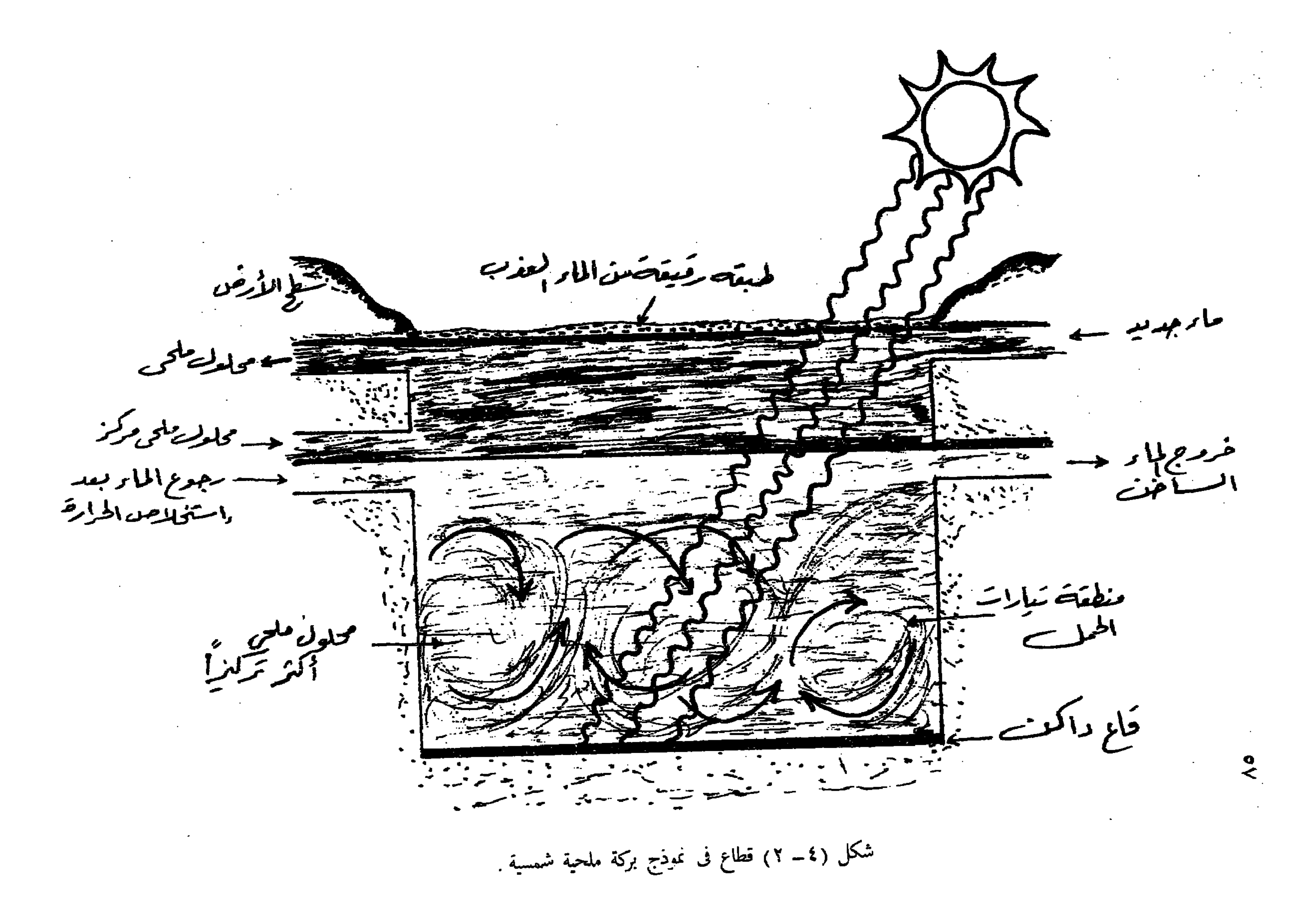
والتجارب التى أجريت فى الخمسينات على البرك الملحية الصناعية بينت إمكان إرتفاع درجات الحرارة إلى أكثر من مائة درجة مئوية عند قاع بركة ذات عمق من متر إلى مترين ودرجة حرارة عملية من ٨٥ إلى ٩٠ درجة مئوية .

والفكرة العلمية الأساسية للبرك الملحية تعتمد على إنشاء تركيز ملحى متدرج الكثافة . ولابد أن يكون هذا التدرج كبير نسبياً للتغلب على الدوران الطبيعى الذى يحدث عادة فى البرك غير المعالجة بهذه الطريقة . وإذا صممت البركة بحيث توجد منطقة حمل تحت طبقة العزل السطحية فإن طبقة العزل تستخدم لخزن الطاقة الحرارية المجمعة . ومن الممكن أن تُزال الطاقة الحرارية من قاع البركة وتستخدم لأى غرض كان . ويوضح الشكل (٤ ــ ٢) قطاع فى نموذج بركة ملحية شمسية [٣] .

تتدرج درجة تركيز محلول الملح فى البركة الملحية الشمسية بين صفر عند السطح إلى الحد الأقصى وهو ١٧ فى المائة بالوزن فى طبقة التخزين عند القاع . وهى تكافىء ميل فى الكثافة مقداره ٠٫٠٥ جرام لكل سنتيمتر مكعب لكل متر والذى يسمح بالتالى لميل حرارى مقداره عشرين درجة مئوية لكل متر . وتحتاج مثل هذه البركة إلى حوالى نصف طن من الملح لكل متر مربع من مساحة السطح ، ومن ذلك يتضح أن تكاليف الملح وتوفره تؤثر بدرجة عالية على اقتصاديات البرك الملحية الشمسية .

ويتم اختيار الأملاح المناسبة تبعاً لقابلية الذوبان وازديادها بزيادة درجة الحرارة ، ونفاذية المحلول الملحى الكافية للإشعاع الشمسى الساقط ، وتوافر الملح بسعر رخيص ، وأن لاتكون لهذه الأملاح أى خطورة على البيئة .

ولقد بُنيت معظم البرك الملحية الشمسية باستخدام محاليل ملح كلوريد الصوديوم ولكن محاليل بعض الأملاح الأخرى مثل مخاليط أملاح كلوريد الصوديوم وكلوريد



شكل (٤ – ٢) قطاع فى نموذج بركة ملحية شمسية .

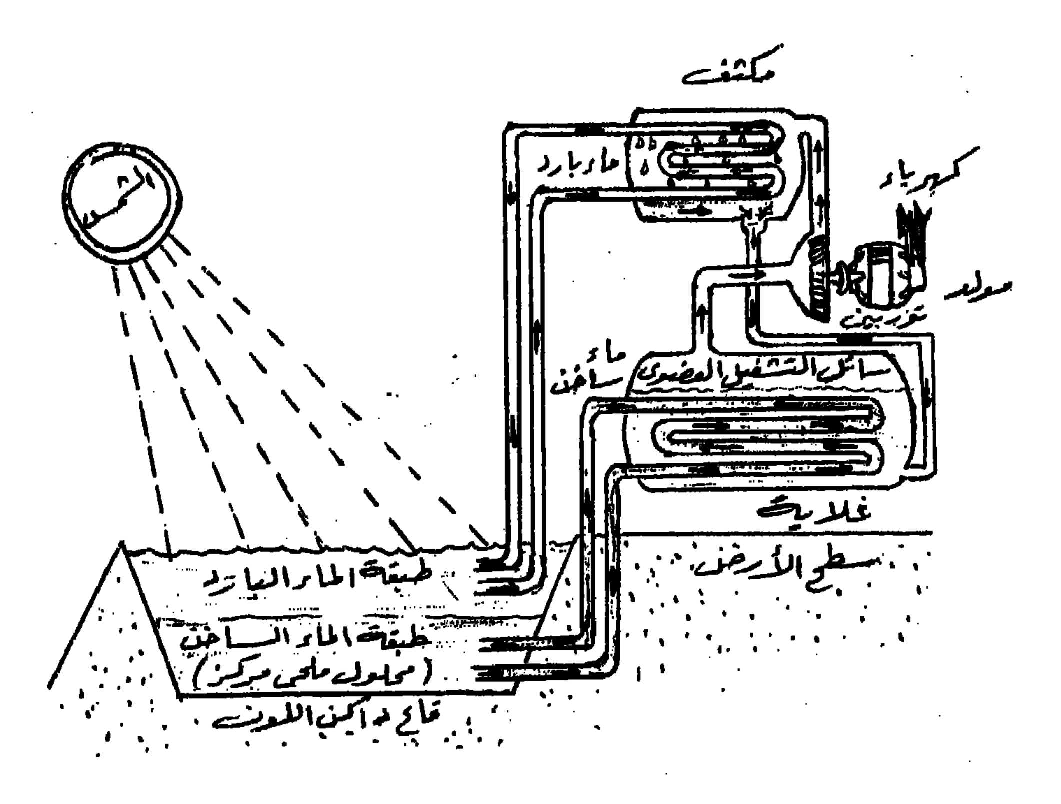
الماغنسيوم الناتجة عن التبخير المباشر لمياه البحر قد تؤدى نفس الغرض بتكاليف أقل
والاستخدام الأمثل على نطاق واسع للبرك الشمسية يرتبط إرتباطاً وثيقاً بالمكان المناسب وتوفر الملح أو الماء المالح والنفاذية المحدودة لسطح الأرض المستخدمة . .

ويبين شكل (٤ ـ ٣) الدورة التى تستخدم فيها البركة الملحية الشمسية كمصدر للطاقة الحرارية . وتستخلص الحرارة بواسطة سحب الماء الساخن من جهة عند منطقة الحمل الحرارى السفلى وإدخالها على مُبادل حرارى ثم إعادة ادخالها من الجهة الأخرى . وعلى ذلك تنقص درجة حرارتها عدة درجات مئوية ويكون معدل سرعة مرورها حوالى مائة متر فى اليوم .

٤ ـ ٤ مميزات تقنية البرك الشمسية :

ونظراً لرخص تكاليف البركة الملحية الشمسية بالمقارنة بالمجمعات الشمسية ، وتقارب قيم الكفاءة ، فإن التطبيقات العديدة سوف تلاقى نجاحاً كبيراً . وقدرة البركة الملحية على تخزين الحرارة تحل مشكلة ربط الإحتياج للحرارة مع أوقات سطوع الشمس وذلك رغم الاختلافات الزمنية المتوقعة .

وتعتبر هذه التقنية السبيل إلى إنتاج قدرة كهربية على نطاق واسع ، والإستعاضة بذلك عن الطاقة التقليدية فى جميع أنحاء العالم حيث يتوفر الماء والملح والطاقة الشمسية . ونتوقع أن تبلغ الطاقة الإنتاجية الكهربية المولدة فى العالم بهذه الطريقة إلى آلاف الميجاوات . ومن الممكن تنفيذ هذه التقنية فى الدول النامية بالتمويل المحلى والأيدى العاملة الوطنية . ومن التطبيقات العملية لهذه التقنية استخدام الحرارة الناتجة فى التدفئة ، وفى المصانع ، وتقطير المياه وتحليتها ، وفى توليد الكهرباء .



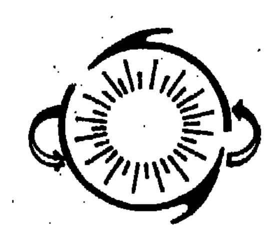
شكل (٤ ـ ٣) نموذج توضيحي لتحويل الطاقة الحرارية إلى كهربية باستخدام تقنية البركة الملحية الشمسية .

٤ ـ ٥ المراجع :

١ ـ T. S. Jayadev and M.Edesses, 'Solar Ponds', SERI/TR 731 587. April 1980.

٢ ـ S.Winsberg, 'Solar Perspectives', Sunworld, V.5, No.4, 1981.

٣ ـ M.R.I. Ramadan and A.G. El-Shekeil, 'Renewable Energy Resources for Yemen A.R., part II: Possible Resources.'. Accepted for publication, August 1984, Delta J. of Science.



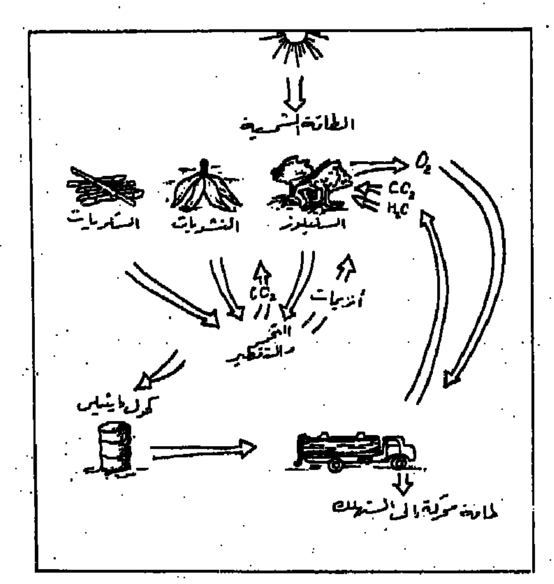


الفصل الخامس

طاقة الكتلة البيولوجية Biomass

٥ ـ ١ تحويل الكتلة البيولوجية إلى وقود :

تحتل طاقة الكتلة البيولوجية منزلة خاصة نظراً لأهميتها القصوى لحاضر ومستقبل الطاقة فى الدول النامية ، فيعتمد حوالى سبعون فى المائة من السكان على الكتلة البيولوجية كالخشب ، وبقايا المحاصيل ، وروث البهائم للإستخدامات المنزلية وخصوصاً كوقود للطهى . وبالاضافة إلى ذلك فإن الكتلة البيولوجية مصدر طاقة متعدد الجوانب ، من الممكن تحويلها إلى وقود صلب وسائل وغازى . أنظر شكل (٥ ـ ١) .



شكل (٥ ـ ١) دورة تحضير الكحول الايثيلى

فبدائل البنزين مثلاً من الممكن إنتاجها من الكتلة البيولوجية بواسطة التخمر والتقطير لقصب السكر لإنتاج الكحول الإيثيلي . وتحضير الكحول الميثيلي من الخشب ، والغاز من المعاملة الحرارية للخشب وبقايا المحاصيل الزراعية . ويمكن بغير ذلك من التفاعلات الكيميائية إنتاج الوقود من الكتلة البيولوجية على نطاق صناعي واسع أو على نطاق محلي محدود .

ويبين جدول (٥ ــ ١) طرق تحويل الكتلة البيولوجية إلى وقود صالح للإستعمال [١] . ولقد تقدمت كثير من العمليات والتقنيات لتحويل الكتلة البيولوجية إلى وقود صلب وسائل وغازى . ومن أمثلة الوقود المنتج : فحم الخشب ، والوقود الصلب المضغوط ، والكحول الإيثيلي ، والكحول الميثيلي ، والوقود الزيتي ، والغاز .

جدول (٥ ــ ١)

طرق تحويل الكتلة البيولوجية إلى وقود

المادة الأولية	طريقة التحويل	الوقود الناتج
البذور الزيتية	الإستخلاص	وقود زيتي
السكر والنشا	التخمر	الكحول الإيثيلي
الخشب والسليلوز	التغويز والتميع	الكحول الميثيلي
الخشب	الكربنة	فحم الخشب
البقايا الحيوانية والزراعية	الهضم اللاهوائى	غاز الميثان
البقايا المدنية والخشب والمخلفات الزراعية	التكسير الحرارى	زيت ، فحم ، غاز
المخلفات الزراعية والخشب	التغويز	غاز المولدات

وتعتمد التقنيات التى تستخدم مصادر الكتلة البيولوجية لانتاج الحرارة للعمليات الصناعية ولانتاج الكهرباء على الاحتراق المباشر لواحد أو أكثر من أشكال الكتلة البيولوجية فى غلاية مناسبة التصميم . ويمكن أن يحل الوقود المحضر من مصادر الكتلة البيولوجية محل الوقود التقليدى مباشرة فى محركات الاحتراق الداخلى . ومحركات الديزل

يمكنها أيضاً أن تعمل بالوقود السائل المشتق من مصادر الكتلة البيولوجية مثل الزيوت النباتية . كما أن محركات البنزين تستطيع أن تعمل بالوقود السائل أو الغازى المحضر من مصادر الكتلة البيولوجية .

٥ ـ ٢ محركات غاز المولدات للمناطق الريفية :

تحتاج المناطق الريفية إلى طاقة ميكانيكية لعمليات الرى والحرث والحصاد والنقل وغيرها . ومن قديم الأزمان ، إعتاد الناس فى المناطق الريفية المنعزلة أن يحصلوا على هذه الطاقة بواسطة حيوانات الجر (وبقاياها) بكفاءة حرارية منخفضة للغاية تتراوح بين ٣ إلى ٥٪ وبالمقارنة ، فى حالة كفاءة الطاقة للإنتاج الزراعى ، نجد أن الدول النامية تستخدم طاقة أكبر للوحدة الإنتاجية مما يستخدم فى البلاد المتقدمة . ولابد للدول الفقيرة فى الوقود الأحفورى أن تزيد من كفاءة الطاقة بإستخدام مصادر الطاقة المتجددة مثل الخشب ، وبقايا المحاصيل ، وروث البهائم ، والطاقة الشمسية .

ومحرك الغاز المولد ـ وهو فى حد ذاته عبارة عن محرك احتراق داخلى ـ له فوائد عدة ، إذ يستطيع أن يعمل بواسطة وقود صلب مثل الخشب ، والتبن ، وبقايا المحاصيل ، وله كفاءة محرك عالية نسبياً (من ٢٠ إلى ٣٠ فى المائة) ، وهو منخفض التكلفة ، ويمكن تصنيعه محلياً ومن السهل تطويعه لآلات الإحتراق الداخلى الموجودة .

٥ ـ ٣ قاعدة عمل محركات غاز المولدات :

وقاعدة عمل غاز المولدات معروفة جيداً ، إذ أن وقود الكتلة البيولوجية الصلب هو عبارة عن مخاليط من مركبات الكربون والهيدروجين والأكسجين التى تمر بتفاعلات مصحوبة بانطلاق أو امتصاص حرارة خلال الإحتراق الجزئى فى الهواء كما هو مبين فى جدول (٥ ـ ٢) [٢] . فيتفاعل الهواء القادم مع الكربون الساخن وتنطلق حرارة لتكون ثانى أكسيد الكربون (معادلة ١) ، والذى يُختزل فورا إلى أول أكسيد الكربون مع إمتصاص حرارة (معادلة ٢) . وبخار الماء يمر بعدة تفاعلات مع الكربون وأول أكسيد الكربون (المعادلات ٥ ، ٦ ، ٧) منتجاً هيدروجين . وعادة يحافظ على درجة حرارة إتزان من ٩٠٠ إلى ١٢٠٠ درجة مئوية (إعتمادا على نوع الوقود) فى منطقة التغويز ، وينتج خليط غازى من أول أكسيد الكربون ، وثانى أكسيد الكربون ، والهيدروجين ، والهيدروكربونات الخفيفة . ويعمل النيتروجين فى هواء الاحتراق كَمُخَفِّفْ خامل . ونواتج

التحلل الحرارى مثل الأحماض العضوية والقطران توجد خصوصاً فى وقود الكتلة البيولوجية . ويسمى مخلوط الغازات هذه بغاز المولدات ، وقيمته الحرارية تكون منخفضة فتتراوح بين ٤ إلى ٨ مليون جول لكل متر مكعب وذلك كنتيجة لإرتفاع تركيز غاز النيتروجين .

ويبُرد هذا الغاز ويُرشح ويدخل إلى مكربن آلة الإحتراق الداخلى حيث يُخلط بهواء الإحتراق ويدفع إلى اسطوانات المحرك. والتبريد عملية أساسية لزيادة الكفاءة الحجمية أثناء عملية الكربنة . كما أن تنظيف الغاز لإزالة المواد الحمضية والقارية والدقائقية هى عملية أساسية لسلامة المحرك . وخلال عملية تشغيل محرك غاز المولدات فإن المحرك يسحب الهواء الداخل إلى غاز المولدات متحكما فى معدل إستهلاك الوقود ومعطياً طريقة تحكم بسيطة فى كيفية التشغيل .

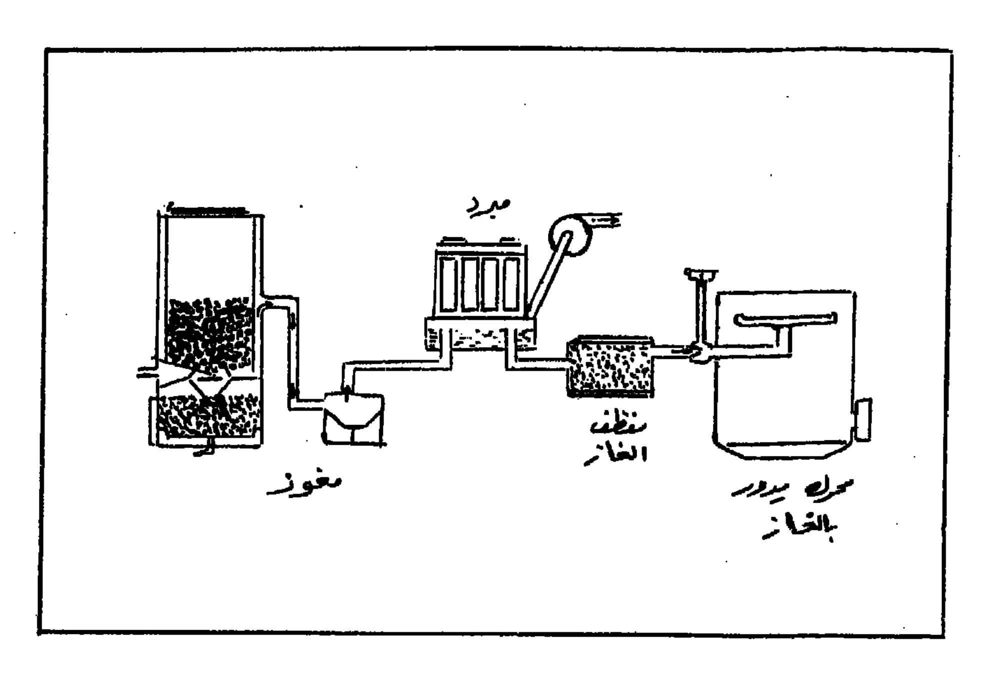
جدول (٥ ـ ٢)

تفاعلات تغويز وقود الكتلة البيولوجية

التفاعل					التغيرات فى الطاقة الحرارية (كيلو جول)
1. C (S)	+	O_2 (G)	=	CO_2 (G)	− 400
2. CO_2 (G)	+	C (S)	=	2 CO (G)	+ 160
3. 2 C (S)	+	O_2 (G)	=	2 CO (G)	− 240
4. 2 CO (G)	+	O_2 (G)	=	2 CO_2 (G)	− 560
5. H_2O (G)	+	C (S)	=	CO (G) + H_2 (G)	+ 120
6. H_2O (G)	+	CO (G)	=	H_2 (G) + CO_2 (G)	− 40
7. C (S)	+	2 H_2O (G)	=	CO_2 (G) + 2 H_2 (G)	+ 80

S = صلب G = غاز

وعلى هذا فإن النظام المتكامل لمحرك غاز المولدات يتكون من مُغوز ، ومبرد ، ومنظف ، ومحرك كما فى الشكل (٥ ـ ٢) ودور المغوز هو إنتاج غاز نظيف قابل للاحتراق (من وقود صلب غير متجانس) حيث يمكن إستخدامه فى محركات آلات الإحتراق الداخلى .



شكل (٥ ـ ٢) رسم توضيحى لمحرك غاز المولدات

وحالياً ، فإن كثيراً من المحركات التى تعمل بالبنزين والديزل يمكنها أن تعمل بغاز المولدات بكفاءة عالية . ومحركات الديزل مزدوجة الوقود لها نسب ضغوط عالية وهى مصممة كى تعمل بنوعى الوقود الغازى والسائل ، وعلى ذلك فمن الممكن أن تبدأ بوقود الديزل ثم تتحول إلى غاز المولدات . وكثير من المحركات العاملة فى الحقول الزراعية (المضخات وآلات الحصاد وغيرها) هى محركات ديزل يُمكن أن تحول للعمل بغاز المولدات .

٥ ـ ٤ مصادر الوقود :

إن توفير مصادر الوقود لتشغيل محركات غاز المولدات عملية مهمة جداً حيث أن وقود الكتلة البيولوجية أصبح شحيحاً وذلك نتيجة لزيادة السكان ، وعدم استخدام الوقود بالكفاءة المطلوبة . ويوجد مصدران للوقود هما بقايا المحاصيل غير المستخدمة حاليا مثل قشور الثمار وبذور الفاكهة ونشارة الخشب ، وكذلك الخشب الذى يستخدم حالياً بكفاءة منخفضة بالمقارنة بالكفاءة العالية فى تقنية غاز المولدات .

وفى الواقع فإن أى وقود صلب كربونى يمكن استخدامه لانتاج غاز المولدات ، ولقد أستخدم بنجاح كل من الخشب والفحم النباتى والفحم الحجرى وتفل قصب السكر

وقوالح الذرة وقشور الثمار والتبن . والخصائص المميزة للوقود والتى تؤثر على كفاءة غاز المولدات هى التفاعل والحجم والمادة المتطايرة والرطوبة والمحتوى الرمادى والكثافة الحجمية للطاقة . وإذا كانت قدرة الوقود على التفاعل عالية مثلاً فذلك مؤشر على سهولة تغويز الوقود وهو المطلوب فى هذه التقنية .

٥ ـ ٥ كفاءة الطاقة :

وكفاءة الطاقة الكلية عبارة عن حاصل ضرب الكفاءات للخطوات المختلفة وهى معالجة الوقود ، وانتاج الغاز ، وأداء المحرك .

وتعتمد الكفاءة الحرارية لإنتاج الغاز على نوع الوقود ، فتنتج كفاءة حرارية من ٦٠ إلى ٧٠٪ عند إستعمال الكتلة البيولوجية المجففة بالهواء أى التى تحتوى على رطوبة أقل من ٢٠٪ . ويمكن الحصول على كفاءة حرارية تصل إلى ٨٠٪ عند تغويز الفحم النباتى والفحم الحجرى . كما يمكن الحصول على نفس الكفاءة الحرارية عند تغويز الكتلة البيولوجية المضغوطة .

٥ ـ ٦ البيوجاز (الوقود الغازى من الكتلة البيولوجية) :

أكتشف البيوجاز عام ١٧٧٦ بإيطاليا كغاز يتولد من المستنقعات ولذلك سُمى أول الأمر بغاز المستنقعات وهو عبارة عن غاز قابل للإشتعال يتولد عن تخمر أى مواد عضوية حيوانية أو آدمية أو نباتية تحت سطح الماء بمعزل عن الهواء وذلك بفعل البكتريا اللاهوائية . وقد أنشئت أول وحدة فى العالم بالهند عام ١٨٩٠ لإنتاج البيوجاز من مخلفات الإنسان ، ثم بدأ التطبيق الفعلى لإنتاج البيوجاز بألمانيا أثناء الحرب العالمية الثانية من مخلفات المزارع وفضلات الإنسان والحيوان وذلك بهدف إنتاج وقود بديل لتشغيل مائة ألف جرار وآلة زراعية وسيارة عند إشتداد أزمة البترول خلال حصار الحلفاء لألمانيا .

وقد أعادت حرب أكتوبر عام ١٩٧٣ الاهتمام بقضية إنتاج البيوجاز من المخلفات المتاحة فى الريف والمدن بعد أزمة الطاقة خلال الحرب وارتفاع أسعار البترول ارتفاعاً خيالياً .

ولقد قامت القوات المسلحة المصرية [٣] بإجراء دراسة ميدانية خلال عام ١٩٨٣ لتقويم كميات وأنواع المخلفات العضوية التى يتسبب عن تراكمها روائح كريهة بالإضافة

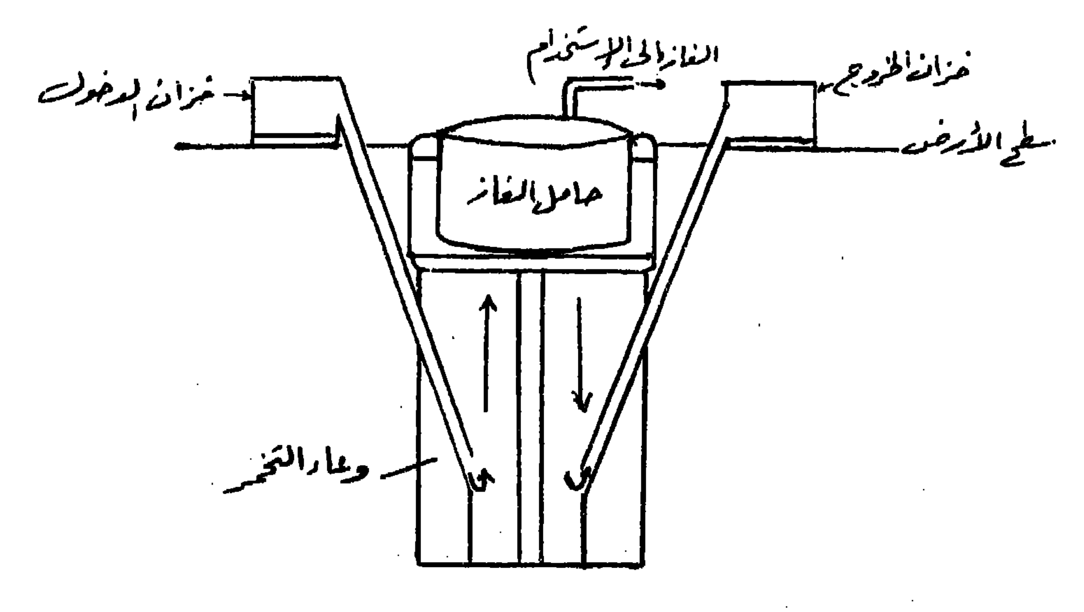
إلى كونها مراكز جذب للذباب والفئران واتضح من الدراسة أن التخلص منها بحرقها يتطلب كميات من الوقود . كما أن المواد العضوية المتخلفة من إعاشة جنود معسكر قوته ألف فرد تصل إلى حوالى ٧٧ طن مخلفات سنوياً وأنه يتم حرقها دون إستغلال للطاقة الكامنة بها من غاز وسماد عضوى جيد . كما إتضح من الدراسة أنها تضم مخلفات الإعاشة اليومية للأفراد ومخلفات دورات المياه والحمامات ، بالإضافة لمخلفات تتعلق بطبيعة نشاط المعسكرات مثل الزيوت والشحوم ونشارة الخشب .

وأكدت الدراسة أن الحل العملى والإقتصادى والصحى هو تخمير مخلفات الإعاشة بالمعسكرات لانتاج البيوجاز والسماد العضوى وأن ذلك الحل العملى يوفر حوالى ٥٠٪ مما يصرف على التخلص منها بالإضافة إلى مالهذه التقنية من آثار جانبية على تحسين البيئة ورفع مستوى الأداء فى المطابخ التى تستخدم البيوجاز بدلاً من مواقد السولار (زيت الوقود) . كما أستخدم البيوجاز أيضاً فى توليد الكهرباء وفى الإضاءة . وهو غاز عديم اللون والرائحة وغير سام وذو كفاءة عالية ويمكن للمتر المكعب من البيوجاز تشغيل جرار زراعى أو سيارة زنة ثلاثة أطنان لمسافة ثلاثة كيلومترات أو ماكينة قدرتها واحد ونصف حصان لمدة ساعتين أو اضاءة لمبة كهربية قدرة ستين وات لمدة ست ساعات .

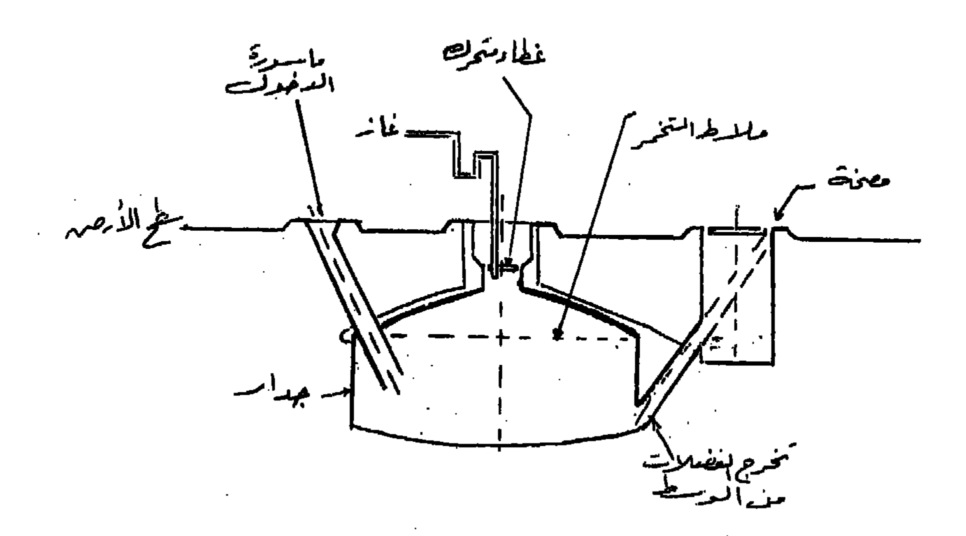
ويبين الشكلان (٥ ــ ٣) ، (٥ ــ ٤) نموذجين لتوليد البيوجاز أولها يُعرف بالنظام الهندى والآخر بالنظام الصينى ، كما يوضح الجدول (٥ ــ ٣) مقارنة بينهما [٤] .

ويتحكم فى إختيار النظام الأصلح العوامل البيئية المحلية ، والمواد المتاحة ، وخبرة ومهارة البانى ، والإمكانيات المادية وغيرها ولكن مهما كان نوع المشروع ، فإذا تم بناؤه على أساس علمى سليم وتشغيله بمهارة فلابد أن يعطى نتائج ممتازة .

وبالنسبة للكفاءة فإن مشاريع توليد الغاز الهندية تعتبر مُرضية جداً ومجدية . فهى سهلة البناء والصيانة . وإذا تم تشغيلها بذكاء فإنها خالية من المشاكل . ويُوصى بهذا النوع دائماً وخصوصاً للمبتدئين . والمشاريع الصينية أيضاً تعتبر صالحة للغاية ولكنها تتطلب مهارة وخبرة فى البناء . فضغط الغاز المرتفع فى وعاء التخمر Digester يسبب مشاكل كبيرة إذا لم يُبنى بدقة (مثل تسرب الغاز ، وتشقق الغطاء والجدران) .



شكل (٥ ــ ٣) النموذج الهندى لمولد البيوجاز



شكل (٥ ــ ٤) النموذج الصينى لمولد البيوجاز

جـدول (٥ ـ ٣)

المقارنـة بيـن النـموذجين الهنـدى والصينى

لتـوليـد البيـوجـاز

موضوع المقارنة	النمـوذج الهنـدى	النموذج الصينى
الغرض	أولاً : إنتاج البيوجاز ثانياً : إنتاج الأسمدة	أولاً : إنتاج الأسمدة ثانياً : إنتاج البيوجاز
الإنشاء	حفرة بسيطة . من السهل بناؤها ولكن من الصعب تركيبها إذا لم تتوفر طريقة لحمل أسطوانة الطفو أو تصنيعها فى نفس مكان تركيبها .	بناء مغلق أو خزان خرسانى تحت الأرض . تحتاج مهارة للحصول على مكان محكم للغاز . من السهل بناؤها فى أى مكان .
المواد الأولية	ملاط روث الهائم فقط	مواد عضوية مختلطة مثل الخضروات وروث البهائم وكثير من النباتات والبراز
إخراج النواتج	السريان الأوتوماتيكى بواسطة الجاذبية الأرضية .	بواسطة مضخة أو جردل
التشغيل	لاتحتاج إلى أى عمالة سوى للتعبئة بالملاط وخلطه	تحتاج إلى عمالة كثيرة فى التعبئة والتفريغ
جمع الغاز	فى أسطوانة الطفو. حجم الغاز يظهره إرتفاع الطفو. تحتاج الأسطوانه إلى طلاء بصفة مستمرة لحمايتها من التآكل	لاتوجد أسطوانة ، ويتولد الغاز فى وعاء محكم. يتبين حجم الغاز وضغطه بواسطة إرتفاع الملاط عند مكان الخروج
ضغط الغاز	ضغط منخفض ـ يتراوح بين سبعين إلى مائة وخمسين مليمتر زئبق وهو ضغط منتظم بسبب أسطوانة الطفو	ضغط عالٍ ـ يبلغ حده الأقصى ألف مليمتر زئبق ـ ويتغير باستمرار
التكاليف	عالية وذلك لتكاليف الأسطوانة المعدنية وتركيبها	تكاليفه أقل
الشكل والمظهر	أنيق ومحكم	محكم

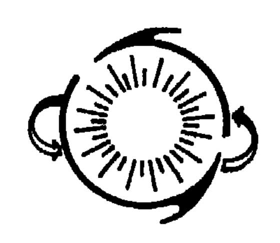
٥ ـ ٧ المراجع :

١ ـ M.R.I. Ramadan and A.G. El-Shekeil 'Renewable Energy Resources For Yemen A.R., part I: Available Resources', Accepted for publication, April 1983, Delta J. of Science.

٢ ـ M.R.I. Ramadan and A.G. El-Shekeil 'Renewable Energy Resources for Yemen A.R., Part II: Possible Resources', Accepted for publication, August 1984, Delta J. of Science.

٣ ـ جريدة الأهرام القاهرية ، ص ٩ ، ١٨ ابريل ١٩٨٤ .

٤ ـ 'Chinese or Indian Biogas Generators: A comparison', V.6, No.2, 1982.





الفصل السادس

الطاقة من الرياح Wind Energy

٦ـ ١ مصدر طاقة الرياح :

تعتبر طاقة الرياح أحد مظاهر الطاقة الشمسية ، فالشمس ترفع درجة حرارة طبقات الفضاء ـ وهى ليست على درجة حرارة واحدة فى كل الأماكن وفى الطبقات المختلفة الإرتفاع ، بل تتحكم فى ذلك الزاوية التى تسقط بها الأشعة الشمسية على هذه الطبقة وينتقل الهواء البارد ليحل محل الهواء الساخن ، وكذلك يرتفع الهواء الساخن بدوره إلى أعلى ليحل مكانه الهواء البارد .

هذه التحركات هى التى تسبب الريح فتختلف من موضع إلى آخر ، ومن فصل إلى فصل ، وان كان المتوسط فى أى شهر من العام يكاد يكون مماثلاً للمتوسط فى الشهر نفسه من الأعوام الأخرى . كذلك يكاد يكون متوسط قوة الرياح خلال الأعوام ثابتاً إذا أخذنا متوسط عشرة أعوام متتالية مثلاً .

وطاقة الرياح طاقة هائلة يمكن الحصول منها على ملايين الكيلووات ، فتغنينا عن أضعاف مايستهلك اليوم من منتجات وقود البترول والفحم . وبالتقريب فإن إثنين فى المائة من أشعة الشمس التى تسقط على سطح الأرض تتحول إلى طاقة حركة للرياح . ويزيد مقدار هذه الطاقة على كمية الطاقة الكلية المستخدمة فعلياً فى العالم كله على مدار العام .

وتقام على سواحل البحار وفى المناطق المكشوفة والأماكن المرتفعة فوق الجبال والهضاب أعمدة ترتفع أكثر من عشرين متراً ، وتوضع فوقها أجهزة قياس سرعة وإتجاه الريح . ويمكن بعد دراسات تستغرق أعواماً طويلة معرفة أحوالها المختلفة من سرعات وأوقات الهبوب وإتجاهاتها وأحسن الطرق لإستغلالها عملياً وإقتصاديا .

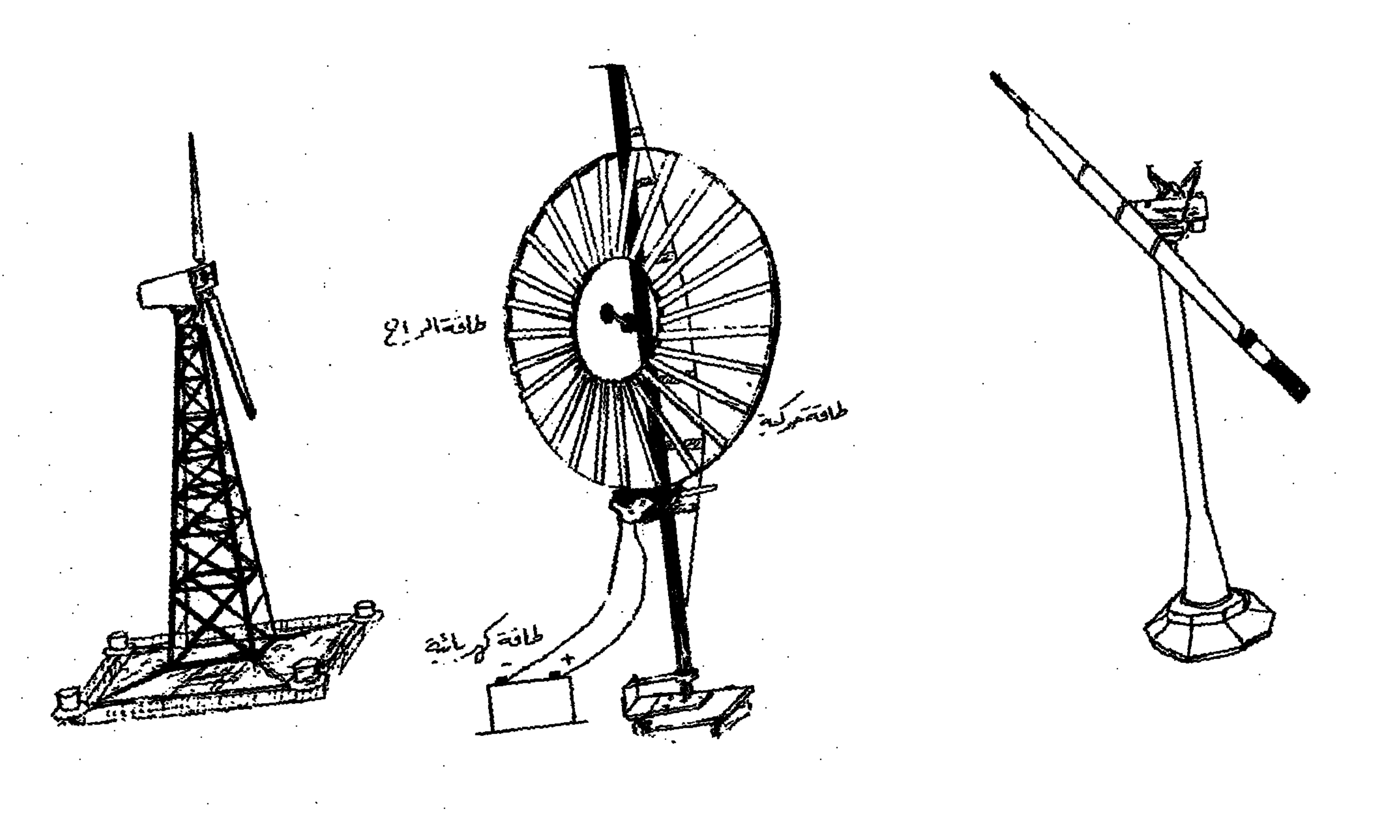
٦ ـ ٢ لمحات من تاريخ إستغلال طاقة الرياح :

وخلال العصور المختلفة أستخدمت الطواحين الهوائية فى أقطار كثيرة فى ضخ الماء من الآبار الجوفية لرى الأراضى وفى طحن الحبوب . وكانت طواحين الهواء فى هولندا أكبر عون لها على تجفيف مناطق بأسرها من ماء البحر وتحويلها إلى أرض زراعية . وهناك بلاد أخرى جعلت منها عماد القوة لرى أراضيها من مياه الأنهار .

ولقد إستعمل المسلمون طاقة الريح فى إدارة الطواحين منذ القرن الرابع الهجرى . كان للرحى ثمانية أجنحة وتكون وراء عمودين ينفذ بينهما الريح كالسهم والأجنحة تقوم عمودية على قائم عمودى أيضاً طرفه الأسفل يحرك حجراً ، فيدور هذا الحجر على حجر آخر . وقد حكى الغزولى المتوفى عام ٨١٥ هـ ــ ١٤١٢م فى أمر هذه الطواحين مايبين أن من الممكن تنظيم سرعتها بواسطة منافس تغلق وتفتح فيها ، وذلك أنها إذا كانت سريعة جداً أحرق الدقيق فيخرج أسود وربما حمى الرحى فإنفلق [١] .

وكانت الدانمارك ــ وهى من الدول المفتقرة إلى الطاقة .. من أوائل البلاد التى عملت على إستغلال الريح على نطاق واسع وحتى وقتنا هذا . وكانت فى عام ١٩٠٠م تملك أكثر من ثلاثة وثلاثين ألفاً من طواحين الهواء على سواحلها وفى الداخل ، تمدها بطاقة لإدارة الآلات وإضاءة المنازل والمدن الصغيرة بالكهرباء بطاقة تبلغ مئات الآلاف من الكيلووات . ومنذ الحرب العالمية الماضية إزداد إهتمام الولايات المتحدة وروسيا وإنجلترا وألمانيا ومصر والهند وبلاد أخرى كثيرة بهذه القوى ، فأنشئت فى الولايات المتحدة خلال الحرب الماضية مراوح هوائية تتراوح طاقتها بين ١٣ و ٤٥ كيلووات لحاجات المزارع الريفية النائية . ثم أجهزة صغيرة لاتزيد قدرتها على ثمانية أو عشرة كيلووات لحاجات المنازل من إضاءة ومياه جوفية للشرب والطهى ورى المزارع المحيطة بها .

وفى الولايات المتحدة قدر العلماء كمية الطاقة التى يمكن الحصول عليها من الرياح بثلاثين مليار كيلووات ساعة فى السنة . وصنعوا أنواعاً مختلفة من الآلات الصغيرة والكبيرة يتكون بعضها من شبكة كبيرة من الأجهزة لتوليد ماتحتاج إليه مدينة أو مصنع من القوى الكهربية للاضاءة أو إدارة الآلات . وبعضها الآخر صغير ورخيص جداً لإستعماله فى البيوت والمزارع الريفية . ويبين الشكل (٦ ــ ١) ثلاثة نماذج مختلفة لبعض أنواع المراوح الهوائية المستخدمة عملياً .



شكل (٦ – ١) نماذج مختلفة لبعض أنواع المراوح الهوائية المستخدمة عملياً.

وفى الاتحاد السوفيتى قدر العلماء كمية الطاقة التى يمكن الحصول عليها من الرياح التى تهب على بلادها الشاسعة بما يزيد على خمسة وثلاثين ملياراً من الكيلووات ساعة فى السنة . وقام المهندسون الأخصائيون فى المعهد المركزى لإستغلال طاقة الريح ، بالقرب من موسكو باعداد مراوح مختلفة الأحجام كما أنشئت شبكات متكاملة ، فى مناطق كثيرة الرياح ، لتوليد كميات من القوى الكهربية تكفى لإضاءة مدن ومصانع كبيرة بأكملها .

وقد نجح العلماء فى كل من أمريكا وروسيا فى تصميم أجهزة تعمل فى كل أنواع الرياح ، سواء أكانت خفيفة أم قوية جدا تبلغ حد العواصف العنيفة ، كما أدخل عليها علماء آخرون الأجهزة الإلكترونية لتقوم بعملها فى الأماكن البعيدة عن العمران .

وفى فرنسا صمم المهندس « أندريو » محركاً تسيره طاقة الرياح بطريقة فريدة فى نوعها وفكرتها . إذ أقام برج المروحة من معدن مفرغ من الداخل كما أن الأجنحة التى تدور مفرغة هى الأخرى من داخلها . فعندما تديرها الريح يطرد الهواء الموجود داخل الأجنحة بالقوة المركزية الطاردة إلى الخارج ، عن طريق فتحات فى طرف الجناح المثبت عند وسط البرج ، فيدخل تيار جديد من الهواء بقوة هائلة تبلغ أضعاف قوة الريح العادية إلى البرج المفرغ الذى تقوم عليه الأجنحة ، فتدور بسرعة كبيرة جداً . ولقد نجح « أندريو » فى الحصول على طاقة قدرها مائة كيلووات ساعة من رياح سرعتها ٤٨ كيلومتراً فى الساعة عندما رحل إلى إنجلترا ليقيم جهازه فى أحد معاهد بحوث طاقة الريح .

والقوة المحركة من تلك الطاقة العظيمة التى لاتنفذ لا يستهان بها ، وإن كان عيبها الوحيد عدم إنتظامها . ويمكن تلافى هذا العيب بعمل بطاريات لاختزان الطاقة لإستخدامها فى الأوقات التى لاتهب فيها الريح أو تكون فيها ضعيفة .

ومن المستطاع صناعة المراوح الهوائية من المواد المحلية المتوفرة ، حتى تصبح فى متناول الجميع ، وتكفى حاجات الأسرة للإضاءة والزراعة . ويمكن إنشاء شبكات كبيرة منها لتوليد كميات كبيرة من هذه الطاقة التى لاتكلف سوى ثمن الجهاز نفسه وما يحتاج إليه من صيانة .

وبهذه التقنية سوف يجد الفلاح والعامل فى عالم الغد طاقات رخيصة لإضاءة المنازل بكهرباء لاتكاد تكلف أكثر من ثمن أدوات الجهاز . وربما يستطيع الواحد منهم بقليل من المعرفة والدراية أن يصنع هذا الجهاز بنفسه . فيتحول بيته الصغير إلى جنة تمنحه الضوء

الكهربى والراديو والثلاجة الصغيرة . ويتاح له فى المزرعة طحن الحبوب وعصر الزيوت وتجفيف الخضر والفاكهة . ورفع المياه من الترع والآبار للرى . وإدارة الآلات الجديدة الصغيرة للحرث والحصاد ببطاريات تختزن الكهرباء من إدارة المراوح الهوائية . فتخفف من أعباء الحياة . وترفع مستوى المعيشة .

ويمكن الإفادة منها أيضاً فى الصناعة . باستخدام الكهرباء من الريح فى تحليل الماء إلى هيدروجين وأكسجين . فيحفظ الهيدروجين لإستخدامه كوقود لإدارة الآلات (أنظر الباب التاسع) . أما الأكسجين فكلنا نعرف فوائده الطبية والصناعية . كما أن الجمع بين الإثنين فى خلية الوقود قد يكون فى المستقبل القريب إحدى القوى المحركة الهامة التى يعتمد عليها فى إدارة الآلات وتسيير السيارات . كما قد تستخدم الريح فى اختزان الهواء والإفادة منه كهواء مضغوط يمكن إستخدامه فى إدارة توربينات توليد الكهرباء وغيرها .

٦ ـ ٣ توافر المصدر فى الدول العربية :

أحد الشروط الهامة لاستغلال طاقة الرياح هو معرفة خواص الرياح فى المنطقة المراد تعميرها . فالتغير فى سرعة الرياح مع الزمن من الثوانى إلى السنين مهم جداً لتصميم واختبار وتشغيل أجهزة تحويل طاقة الرياح . واختيار طرق وأجهزة القياس المناسبة لهذه المقاييس الزمنية مهم جداً . كما أن تأثير السمات السطحية للموقع على المحصول الطاقى من المروحة الهوائية يجعل اختيار موقع تركيبها له عظيم الأثر على اقتصاديات المشروع ككل .

ويبين جدول (٦ ـ ١) بعض المواقع العربية التى ينتظر فيها لطاقة الرياح مستقبل مرموق [٢] . ولقد حُسبت سرعة الرياح المؤثرة من البيانات المتاحة من هذه الدول العربية . وتعرف سرعة الرياح المؤثرة بأنها السرعة التى تهب بها الرياح ٨٧٦٠ ساعة فى السنة وتنتج نفس كمية الطاقة لوحدة المساحات الناتجة عن الرياح الفعلية فى الموقع . وتحسب السرعة المؤثرة V_e من العلاقة :

$$V_e = 3 \left[\frac{1}{100} \left(\Sigma_k V^3_k \cdot \delta f_k \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

حيث أن δf_k هى النسبة المئوية للزمن الكلى الذى تهب فيه الريح بسرعة V_k . ويُحسب متوسط كثافة القدرة المتاحة سنوياً من العلاقة :

$$P = 0.61 V^3_e \quad watt/m^2$$

ولكن متوسط كثافة القدرة التى نستطيع أن نستخلصها فعلاً لكل متر مربع من المساحة المنكنّسة swept area تحسب من العلاقة .

$$P_e = 0.255\, V^3_e \qquad \text{watt/m}^2$$

ولقد أشتقت هذه العلاقة بافتراض أن جزء قدرة الريح المستخلص نظرياً يساوى فقط ٠.٥٩ من قدرة الريح الكلية ، وأن مردود التحويل لمروحة الهواء حوالى ٧٠ فى المائة أى أن معامل القدرة يساوى ٠.٤١ .

ويتضمن جدول (٦ ــ ١) سرعات الرياح المؤثرة ومتوسط كثافة القدرة المتاحة والمستخلصة للمتر المربع من المساحات المنكنسة .

جــدول (٦ ــ ١)

مـواقـع عربيـة يُنتظـر لطاقـة الريـاح فيهـا مستقبـل مرمـوق

الدولة	الموقع	خط العرض (N) (درجة)	خط الطول (E) (درجة)	سرعة الريح المؤثرة (متر/ثانية)	متوسط كثافة القدرة (وات/متر مربع) المتاحة	المستخلصة
البحرين	محرق	٢٦° ١٦'	٥٠° ١٧'	٦.١٢	١٤١	٥٩
مصر	السلوم	٣١° ٣٢'	٢٥° ١١'	٦.١٦	١٤٤	٦٠
	الإسكندرية	٣١° ١٢'	٢٩° ٥٧'	٥.٤٩	١٠٢	٤٢
	الغردقة	٣٣° ٤٦'	٢٧° ١٧'	٦.٥٩	١٧٧	٧٤
الكويت	الأحمدى	٢٩° ٤'	٤٨° ١٠'	٦.٥٠	١٧٠	٧٠
لبنان	البقاع	٣٣° ٥٥'	٣٦° ٤'	٤.٩٣	٧٥	٣١
المغرب	الرباط	٣٣° ٥٢'	٦° ٤٨' W	٤.٧٥	٦٥	٢٧
	طنجة	٣٥° ٤٥'	٦° ٤٢'	٨.٤٠	٣٦١	١٥١
	الدار البيضاء	٣٣° ٣٤'	٧° ٢٨'	٣.٩٠	٣٦	١٥

قطر	الدوحة	٢٥° ١٧'	٥١° ٣٤'	٥.٣٤	٩٣	٣٩
	رأس راكان	٢٦° ٨'	٥١° ١٢'	٧.٢٦	٢٣٦	٩٨
	جزيرة هلول	٢٥° ٤٠	٥٢° ٢٤	٦.٩٨	٢٠٩	٨٧
المملكة العربية السعودية	الظهران	٢٦° ١٦'	٥٠° ١٠'	٦.٤٩	١٧٠	٧٠
	رأس تانورا	٢٦° ٢٤'	٥٠° ٥'	٥.٠٨	٨٠	٣٠
	الطائف	٢١° ٢٩'	٤٠° ٣٢'	٥.١٩	٨٧	٣٦
	ينبع	٢٤° ٧	٣٨° ٣	٥.٨٤	١٢٣	٥١
	جدة	٢١° ٣٠'	٣٩° ١٢'	٤.٨٦	٧٠	٢٩
تونس	تونس	٣٦° ٤٧	١٠° ١١	٦.٦٠	١٧٥	٧٣
	بنزرت	٣٧° ١٦	٩° ٥٢'	٦.١٤	١٤١	٥٩
الإمارات العربية المتحدة	جزيرة داس	٢٥° ٩	٥٢° ٣٥	٥.٦٠	١٠٨	٤٥
	جبل ظانا	٢٤° ١١'	٥٢° ٣٧'	٥.٣٤	٩٤	٣٩
	شرجاح	٢٥° ٢١'	٥٥° ٢٣'	٥.٣١	٩٢	٣٨

٦ ـ ٤ المراوح الهوائية : Wind Turbines

ويوجد حالياً أنواع عدة من المراوح التى تدار بالرياح تصلح للمناطق النائية أو الصحراوية فى البلاد العربية . ويمكن تصنيع بعض هذه المراوح فى أماكن تركيبها باستخدام المواد الخام المحلية وتصبح نواة لمشاريع صناعية تعم الناس بالخير والفائدة .

وتصنف المراوح الهوائية بوجه عام إلى نوعين هما ذات المحور الأفقى وذات المحور الرأسى . ولقد أستخدمت المراوح الهوائية ذات المحور الأفقى منذ أمد بعيد . وهناك من الأدلة مايثبت أن قدماء المصريين قد استخدموها منذ عام ٣٦٠٠ قبل الميلاد فى ضخ المياه لرى الأراضى وطحن الغلال . ومما يُميز هذا النوع من المراوح الهوائية هو امكانية

استخدامها فى حالتى أحمال الازدواج العالية والمنخفضة . ولكن مما يعيبها هو أن محور الدوران لهذه المراوح لابد وأن يكون موازياً لإتجاه الرياح مما يتطلب أجهزة ميكانيكية خاصة .

ومن جهة أخرى فإن المراوح الهوائية ذات المحور الرأسى يُمكن إدارتها بالرياح القادمة من أى إتجاه . وبالإضافة إلى ذلك فإن جهاز توليد الكهرباء يمكن أن يُقرن إلى عمود الإدارة عند مستوى الأرض مما يقلل من التكاليف الإنشائية .

والعامل الأساسى الذى يؤثر على مردود المراوح الهوائية هو معامل القدرة والذى يمثل كفاءة التحويل من قدرة الرياح إلى القوى الميكانيكية (المحركة) . ويعتمد هذا المعامل على نوع وشكل عنفات الدوَّار وهو حساس جداً للنسبة بين سرعة الطرف إلى سرعة الريح . والحد الأقصى لمعامل القدرة هو ٥٩٣و٠ نظرياً . وللمراوح الهوائية ذات المحور الأفقى معامل قدرة أعلى من ذات المحور الرأسى . ومن الممكن تصنيع المراوح ذات المحور الرأسى بحيث تعترض أنبوبة بخار كبيرة وبالتالى تنتج قوى أكبر فى جهاز واحد على الرغم من صغر مردودها .

ومن أنسب أنواع مولدات الكهرباء من طاقة الرياح فى المناطق الصحراوية أو المنعزلة هو المولد المتزامن Synchronous generator الذى يستخدم المغناطيسات الدائمة أو بالتحكم فى نشأة المجال بواسطة التيار المستمر .

٦ ـ ٥ أنظمة التخزين :

ولأن طاقة الرياح طاقة متقطعة تعتمد على الوقت وعوامل أخرى متغيرة فإن استغلالها يصبح اقتصاديا فقط إذا استطعنا خزنها لوقت الحاجة . وعلى الأخص نحتاج إلى أنظمة تخزين تتحمل الأجواء الصحراوية وتخدم المناطق النائية . ولابد لمثل هذه الأنظمة أن تكون تكاليفها منخفضة نسبياً وتحتاج إلى صيانة قليلة .

وإذا كان الهدف من استخدام طاقة الرياح ضخ المياه من الآبار . فإنه من الممكن تخزينها على شكل طاقة وضع . أى رفع المياه إلى خزان مرتفع يسمح بمرور المياه إلى خزان آخر منخفض للاستخدام المباشر عند الحاجة .

ولخزن الطاقة الكهربية تستخدم بطاريات (رصاص ـ حامض) خصوصاً للمناطق ذات الاستهلاك المنخفض . كما توجد أنواع تقليدية أخرى من البطاريات مثل (النيكل ـ

زنك) بدأ انتاجها على شكل تجارى . كما أن بطاريات (زنك ـ كلور) و (فلز ـ غاز) قد استوفت مرحلة الأبحاث وبدأ استخدامها عملياً .

وأنظمة تحويل طاقة الرياح التى تعمل مستقلة قد تحتاج إلى عدة أيام من الخزن الطاقى ويعتمد ذلك على سلوك الرياح فى منطقة التشغيل . وأحد الحلول الناجحة لمشكلة خزن الطاقة على المدى الطويل هو استخدام شبكة من أنظمة تحويل الطاقات المتجددة مثل طاقة الرياح وطاقة الكتلة البيولوجية والطاقة الشمسية .

٦ ـ ٦ التطور المأمول :

توجد على طول شواطىء البحر المتوسط والبحر الأحمر والخليج العربى للدول العربية كثيراً من المناطق غير الآهلة بالسكان صالحة للتطور . هذه المناطق يمكن تحويلها إلى مراكز سياحية إذا توفر فيها الماء الصالح للشرب والطاقة الكهربية . ولأنظمة طاقة الرياح سوقاً رحبة إذا أستخدمت فى هذه المناطق لضخ المياه الجوفية أو لتوفير الكهرباء اللازمة لتحلية المياه وللاستخدام المنزلى . كما يمكن تشغيلها بالاشتراك مع أنظمة الديزل أو الطاقة الشمسية . ولهذا السبب فإن المجتمعات المنعزلة التى تعيش على الجبال فى لبنان واليمن وغيرها من الدول العربية الأخرى سوف ترحب بمولدات الطاقة من الرياح .

وتستغل هذه الأنظمة أيضاً فى إمداد محطات الإتصال بالمناطق النائية والمنعزلة بالكهرباء اللازمة . وفى الحماية الأرضية للخطوط الطويلة لأنابيب النفط والغاز الطبيعى .

ومن الاقتراحات التى نادى بها « جولدنج » عالم الطاقات المحركة الطبيعية الجمع بين كل من طاقات الشمس والرياح والكتلة البيولوجية لسد حاجات الأراضى الريفية والصحراوية البعيدة عن مراكز توليد الكهرباء من مساقط المياه والوقود ، وهو اقتراح جدير بكل تفكير .

٦ ـ ٧ المراجع :

١ ـ آدم متز ، الحضارة الإسلامية فى القرن الرابع الهجرى ، ترجمة محمد أبو ريدة ـ مكتبة الخانجى بالقاهرة ـ المجلد الثانى ص ٣٦٤ وما بعدها .

٢ ـ United Nations Economic Commission For Western Asia, 'New and Renewable Energy in the Arab World', PP. 66, Beirut 1981.



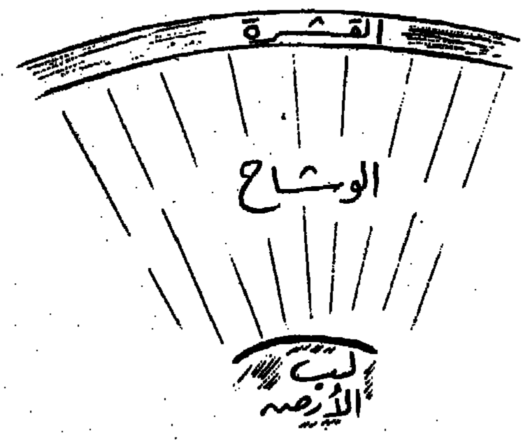
الفصل السابع

طاقة الحرارة الأرضية Geothermal Energy

٧ـ ١ نشأة الحرارة الأرضية :

أحد أشكال الطاقة التى عُرفت وأستخدمت لفترة من الزمن هى حرارة جوف الأرض . فقد ثبت من أعمال المناجم منذ القرن السابع عشر الميلادى أن درجة حرارة القشرة الأرضية تزيد بزيادة العمق مما يدل على وجود تدرج حرارى تزداد درجة الحرارة فيه باتجاه مركز الأرض . وتأكدت هذه الحقيقة بالقياسات التى أجريت فى الآبار العميقة . وسبب هذه الظاهرة إنبعاث الحرارة من لب الأرض إلى الخارج . ويتعلق هذا المصدر الحرارى بطبيعة كوكبنا الأرضى والتفاعلات التى تحدث داخله .

وتتكون الأرض [كما فى شكل (٧ ـ ١)] من القشرة الأرضية crust ، والوشاح



شكل (٧ـ ١) طبقات الأرض المختلفة .

mantle ولب الأرض central core . ويبلغ متوسط سُمك القشرة الأرضية على القارات ، خمسة وثلاثين كيلومتراً تتكون فى معظمها من الصخور الجرانيتية (الحامضية) ، أما القاعدة فمن الصخور البازلتية (القاعدية) .

أما فى المحيطات ، تختفى الطبقة الجرانيتية العليا وتبقى فقط الطبقة البازلتية بسمك حوالى خمسة كيلومترات . ومروراً من القشرة الأرضية خلال فاصل موهو (٠) Mohorovicic discontinuity نجد أن الوشاح يمتد إلى عمق ألفين وتسعمائة كيلومتر .

والطبقة الجرانتية من القشرة الأرضية غنية بالعناصر المشعة ذات فترات نصف العمر الطويلة مثل نظائر اليورانيوم U^{235} ، U^{238} والثوريوم Th^{232} والبوتاسيوم K^{40} ، والتى ينتج عن إنحلالها بالنشاط الاشعاعى حرارة عظيمة ومن المعروف أن درجة الحرارة تزداد باستمرار فى باطن الأرض حتى تصل درجة الحرارة فى الوشاح إلى ألف درجة مئوية .

وسريان الحرارة الجوفية فى أراضى القارات ينتج عن النشاط الإشعاعى للقشرة الأرضية ، كما ينشأ جزء آخر من حرارة جوف الأرض من الوشاح بكميات تختلف من منطقة إلى أخرى . أما فى المحيطات ـ حيث تختفى الطبقة الجرانيتية ـ فتنشأ الحرارة من الوشاح ، ومن العجيب أن كمية الحرارة الناتجة تساوى تقريباً حرارة جوف أراضى القارات ، أى حوالى واحد ونصف ميكرو سعر لكل سنتيمتر مربع وهو مايعادل ثلاثة وستون ملى وات لكل متر مربع بالوحدات القياسية العالمية [١] .

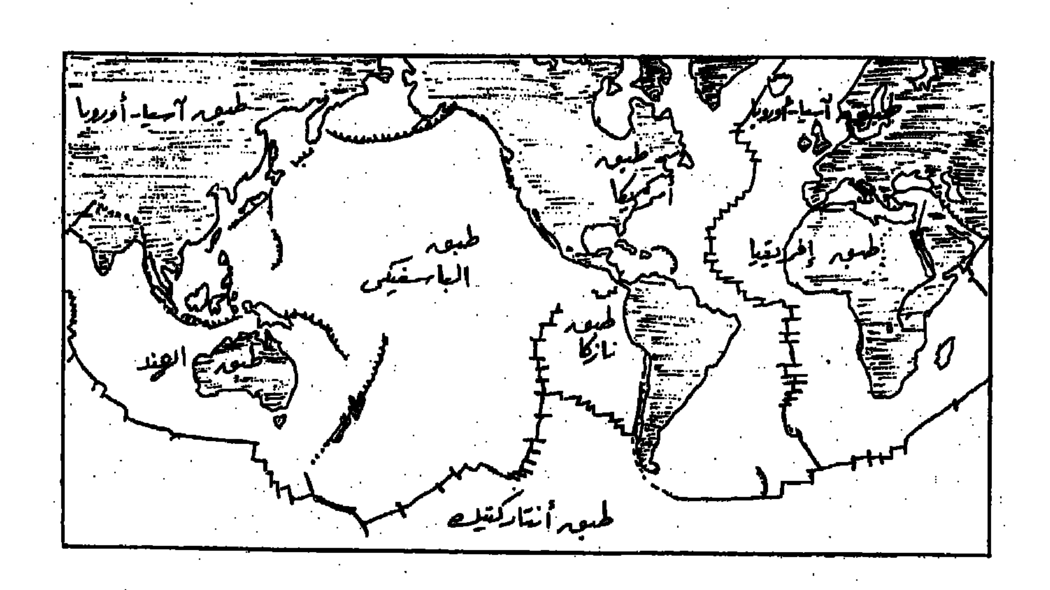
وتوجد مناطق من سطح الأرض يكون فيها سريان الحرارة أكبر بكثير من المعدل السابق وهى المناطق المطابقة لمرتفعات وسط المحيطات mid-oceanic ridges أو أحزمة القشرة الأرضية (الجزر القوسية أو الحواف القارية) بالقرب من مناطق الإندساس (++) Subduction Zones .

(٥) فاصل موهو : هو الحد الفاصل بين صخور القشرة الأرضية والوشاح لتباين الصفات الفيزيائية بينهما والتى ينتج عنها إختلاف سرعات الموجات الزلزالية عند المرور فيها .

(++) مناطق الإندساس : هى النطاقات التى يغوص عندها أحد الأطباق الأرضية تحت الآخر . والطبق المحيطى هو الذى يغوص لأنه الأثقل . ويحدث نتيجة التصادم الانزلاقى هذا إما صعود للمواد البركانية مكونة الجزر البركانية المحيطية أو تهبط مكونة الأخاديد المحيطية .

ومن السهل تفهم هذه الظاهرة إذا رجعنا إلى النموذج الحركى للأرض والمعروف باسم حركة الألواح أو الأطباق التكتونية [٢] plate tectonics ، حيث نجد أن القارات فى حالة زحف مستمر فى حين أن قيعان المحيطات تتمدد باستمرار . وتتطلب هذه الميكانيكية أن تتصرف القشرة الأرضية كجسم جامد يطفو على صخور الوشاح المرنة ، وتنقسم القشرة الأرضية إلى أطباق plates (ستة أطباق رئيسية) فى حركة فوق الوشاح . ويوضح الشكل (٧ـ ٢) هذه الأطباق الستة . وحركة هذه الأطباق الأرضية تنشأ عن العمليات والتفاعلات العميقة التى تنتج كميات عظيمة من الطاقة الحرارية .

والمناطق التى تتصل فيها الأطباق الأرضية المختلفة ببعضها تتطابق مع مرتفعات وسط المحيطات أو مناطق الإندساس . وهى سلسلة جبال منستمرة ومتموجة تمتد لحوالى أربعين ألف كيلومتر تحت سطح البحر خلال كل المحيطات [١] وتكون أطول وأعلى النظم الجبلية المعروفة على الأرض . والصهير الجوفى magma القادم من الوشاح يتصاعد فى تطابق مع محور هذه المرتفعات ويختفى بعضها مسبباً تمدد الأطباق المتاخمة والتى تميل إلى الإنتشار عمودياً على محور هذه المرتفعات . ومعدلات الإنتشار للأطباق المتباعدة عند مرتفعات وسط المحيطات تقدر بين إثنين إلى عشرين سنتيمتر كل عام [١] . والتى تعتبر قيمة عالية جداً فى العرف الجيولوجى .



شكل (٧ـ ٢) الأطباق الأرضية الستة الرئيسية .

ومعدل الإنتشار خمسة سنتمير لكل عام يعنى زحف كل طبق خمسة آلاف كيلومتر عن المرتفعات فى خلال مائة مليون سنة . وبما أن عمر الأرض أكثر من أربعة بلايين سنة وحجمها ثابت ، فإن الأطباق ستختفى من حافة بنفس المعدل الذى تظهر به على الحافة المقابلة . ويحدث الإنحلال فى مناطق الإندساس التى تطابق الأخاديد المحيطية Oceanic trenches حيث يغرق الطبق المنزلق تحت طرف الطبق المجاور وبالتالى يُستهلك فى الوشاح .

ويؤدى الإصطدام الانزلاقى الذى يحدث بين الأطباق وغرق إحداها بالإضافة إلى نشأة الأخاديد المحيطية إلى تكون الأقواس الجزيرية أو سلاسل الجبال على حافة القارة موازية للأخدود المحيطى . ويحدث تصاعد الصهير الجوفى والنشاط البركانى بصفة دورية عن هذه الأقواس والسلاسل .

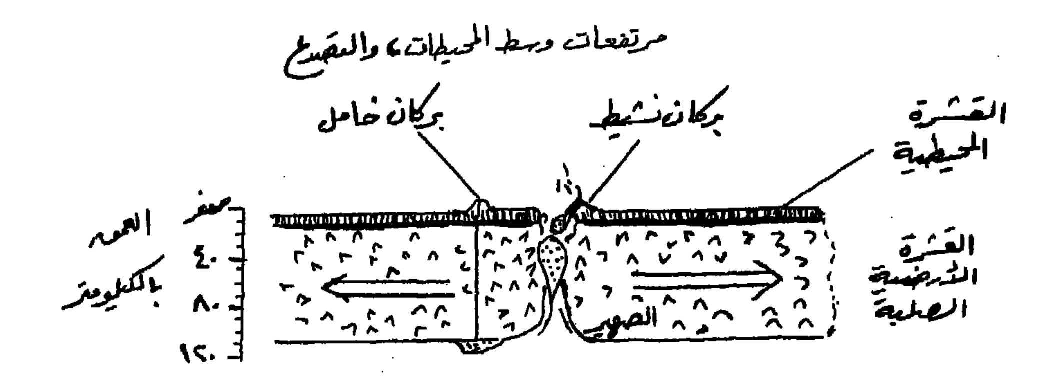
ومن الملاحظ أن كميات الحرارة الأرضية تكون كبيرة عند مرتفعات وسط المحيطات ، والأقواس الجزيرية وسلاسل جبال القارات الموازية للأخاديد . كما توجد معظم حقول انتاج الحرارة الأرضية فى هذه المناطق ، كما يبين ذلك شكلى (٧ ـ ٣) .

٧ ـ ٢ حقول إنتاج الحرارة الأرضية : Geothermal Fields

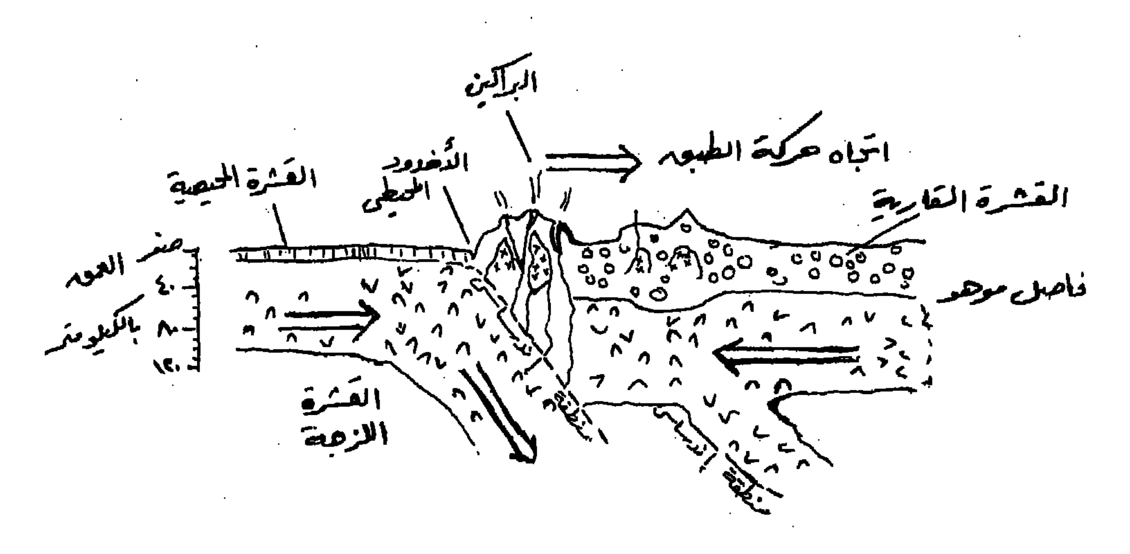
وتشمل هذه المصادر مناطق محدودة من القشرة الأرضية حيث تعمل الحرارة العالية على تسخين المياه الجوفية المحفوظة فى الصخور المنفذة . وعلى سبيل المثال فقد قدرت المساحة الجيولوجية الأمريكية كمية الطاقة الحرارية الأرضية المخزونة تحت مساحة الولايات المتحدة الأمريكية ولعمق عشرة كيلومترات بما يساوى ٦×١٠^{٢٤} سعر وهذه الكمية تعادل القيمة الحرارية الناجمة من حوالى ٩٠٠ تريليون طن من الفحم .

وتنتقل الحرارة بالتوصيل إلى أعلى حتى تصل إلى الصخور المنفذة المحتوية على الماء . عند هذه النقطة تنتقل الحرارة إلى السطح بواسطة الحمل ، فتسخن المياه بملامسة الصخور الساخنة . وعلى ذلك فإن الجزء العلوى من منطقة خزن المياه (منطقة الصخور المنفذة) تكون درجة حرارتها مماثلة تقريباً للجزء السفلى .

ويكون خزان المياه هذا مغطى بصخور غير منفذة تمنع الموائع من الوصول إلى السطح ، وتحتفظ بها تحت ضغط عالٍ . وهذه الموائع عبارة عن ماء فى الحالة السائلة أو



(أ) حدود الطبق المتباعد . مع مرتفعات وسط المحيطات والتصدع والبراكين . (كما فى مرتفعات وسط الأطلنطى) .



(ب) حدود الطبق المتقارب . منطقة إندساس مع الأخدود المحيطى . البراكين والمسترسبات البلوتونيه(*) (الجوفية) (كما فى أخدود بيرو ــ شيلى) .

شكل (٧ ــ ٣)

(*) البلوتونى : صخور نارية تبلورت داخل الأرض .

البخارية . وبحفر بئر فى الخزان يمكن الحصول على محتواها من الموائع وإستغلالها فى مجالات مناسبة .

ويمكن تقسيم حقول إنتاج الحرارة الأرضية إلى ثلاثة أنواع حسب إستغلالها صناعياً :

١ ـ حقول للمياه الساخنة Hot Water Fields

تحتوى هذه الحقول على مياه فى درجات حرارة تتراوح بين خمسين إلى مائة درجة مئوية والتى يمكن أن تستغل للاستخدام المنزلى أو العمليات الصناعية التى تحتاج حرارة .

وتوجد هذه الحقول فى المناطق ذات السريان الحرارى العادى أو فوق العادى . والغطاء الصخرى غير المنفذ ليس ضرورياً فى مثل هذه الحالة . وعلى السطح توجد دائماً ينابيع حرارية تقترب درجة حرارتها من نقطة الغليان . ويمكن استغلال خزان المياه الساخنة اقتصادياً إذا كان على عمق لايزيد على إثنين كيلومتر ويعطى معدلات حرارية عالية فى الآبار .

ومن أشهر الأمثلة للحقول المستغلة إقتصادياً هى الموجودة فى المجر وفرنسا والإتحاد السوفيتى وإيطاليا .

٢ ـ حقول البخار الرطب Wet Steam Fields

تحتوى هذه الحقول على مياه تحت ضغط عالٍ وعند درجات حرارة أعلى بكثير من درجة الغليان كما توجد كميات ضئيلة من البخار عند الأجزاء ذات الضغط المنخفض من الخزان . وبما أن الغطاء الصخرى غير المنفذ يمنع المائع من الهرب من السطح فإنه يقوم بحفظها تحت ضغط عالٍ . وتعتبر هذه الحقول أكثر المصادر الحرارية فائدة للإستغلال الصناعى ، كما أنها تستخدم فى توليد الكهرباء وكافة الاستخدامات الأخرى .

وعندما تُحفر بئر فى خزان حرارى من هذا النوع ، يندفع الماء المضغوط فى البئر وينشأ عن ذلك انخفاض فى الضغط بدون انخفاض فى درجة الحرارة ، فيتبخر جزء من الماء وينتج خليط من الماء الساخن وبخار الماء . وتختلف نسبة الماء إلى البخار من مصدر إلى آخر وأيضاً من بئر إلى أخرى فى نفس المكان . ولكون البخار هو الذى يستغل فى توليد الكهرباء فلابد من فصل الماء عن البخار بطرق خاصة .

ومن مظاهر السطح لهذه الحقول وجود ينابيع للماء الحار والبخار ويحتوى الماء دائماً على كميات من المواد الكيميائية والتى يمكن أن تسبب بعض المشاكل لخطوط أنابيب النقل . هذه المواد الكيميائية تكون فى الغالب صوديوم ، بوتاسيوم ، ليثيوم ، كلوريدات . بيكربونات ، كبريتات ، بورات ، وسليكا .

ومن أمثلة مصادر البخار الرطب تلك الموجودة فى نيوزيلندة والمكسيك والسلفادور واليابان والفلبين والولايات المتحدة وتستغل كلها فى توليد الكهرباء .

٣ ـ حقول البخار المحمص (**) : Super heated Steam Fields

تشبه هذه الحقول من الناحية الجيولوجية حقول البخار الرطب حيث يتواجد الماء الحار والبخار ولكن البخار هو الغالب . وتنتج هذه الحقول بخاراً جافاً (أى بدون ماء فى الحالة السائلة) ، ويكون البخار محمصاً ومختلطاً مع بعض الكميات القليلة من الغازات وخصوصاً ثانى أكسيد الكربون CO_2 ، وكبريتيد الهيدروجين H_2S . ويستخدم هذا البخار المحمص فى توليد الكهرباء .

يحتوى الجزء السفلى من الخزان على ماء فى الحالة السائلة ، أما الجزء العلوى فيحتوى على بخار تحت ضغط متجانس ، فى حالة اتزان مع الماء عند سطح التبخر وعند درجة حرارة التبخر .

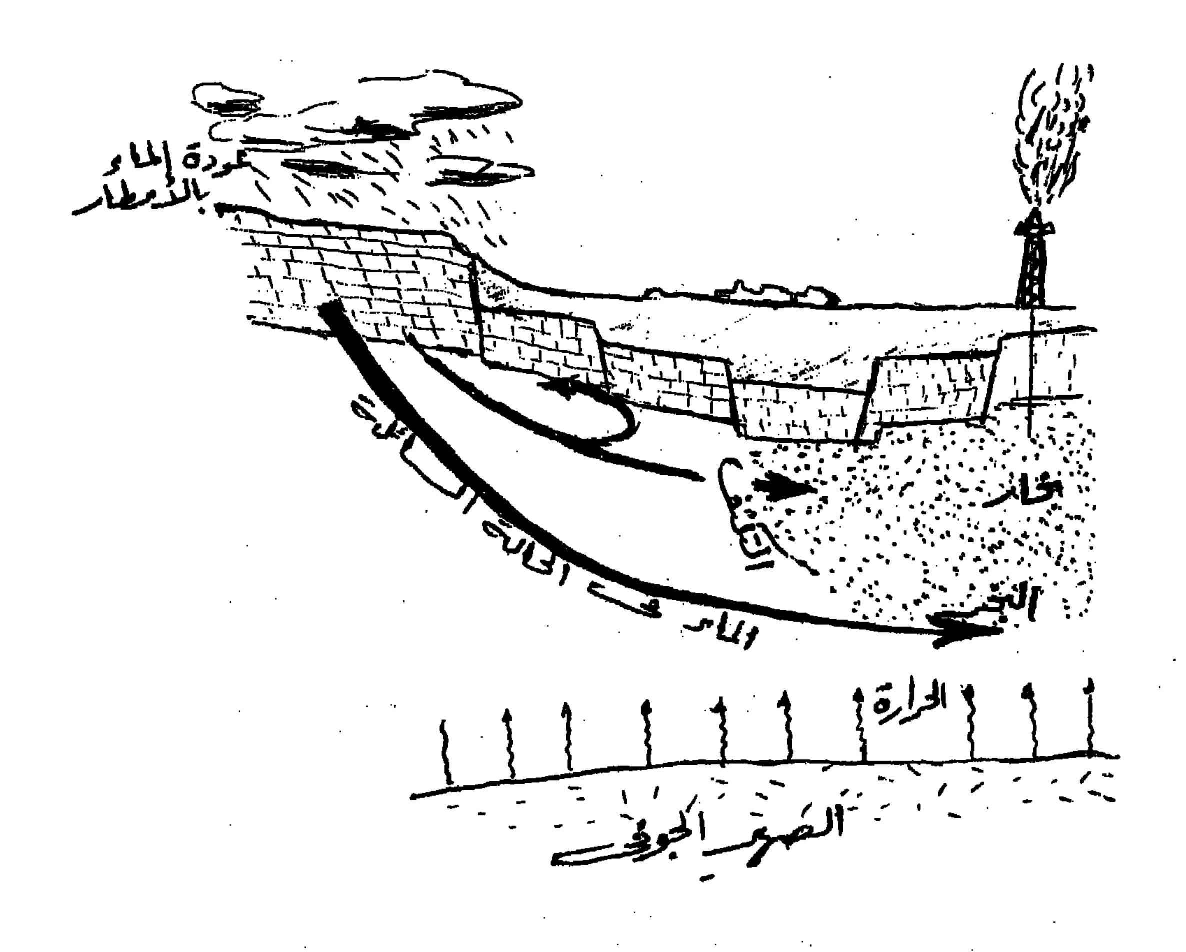
وعندما تصل البئر المحفورة إلى الخزان الأرضى تتكون منطقة انخفاض فى الضغط يندفع إليها البخار . ومع انخفاض الضغط يتمدد البخار ويبرد ولكن نتيجة للظروف الموجودة خلال عملية التمدد والحرارة التى يكتسبها من الصخور فإن البخار يحتفظ بدرجة حرارة أعلى من درجة التبخر عند الضغط الموجود فى تلك اللحظة . وكنتيجة لذلك ينتج البئر بخاراً محمصاً .

وقد تصل درجة التحميص إلى خمس وخمسين درجة مئوية مع فروق ضغط تبلغ

(**) البخار المحمص : كل ضغط يخضع له الماء يتعلق بدرجة حرارة معينة للتبخر . فعند الضغط الجوى المعتاد أى عند مستوى سطح البحر (واحد ضغط جوى) فإن الماء يتبخر عند مائة درجة مئوية أما عند عشرة أمثال الضغط الجوى تصبح مائة وثمانين درجة مئوية . ... وهكذا . عندما تكون درجة حرارة البخار أعلى من درجة التبخر فإنه يسمى « بخارا » محمصاً . والفرق بين درجتى الحرارة يُسمى « درجة التحميص » .

خمسة إلى سبعة كيلوجرامات على السنتميتر المربع ويخرج البخار عند درجات حرارة تصل إلى مائتين وخمسين درجة مئوية .

ومن أمثلة هذه الحقول تلك الموجودة فى إيطاليا (جبل أمياتا) والولايات المتحدة الأمريكية (كاليفورنيا) واليابان (ماتسوكاوا) . ويوضح الشكل (٧ــ ٤) الرسم التوضيحى لميكانيكية خروج البخار من أحد حقوله .



شكل (٧ــ ٤) رسم توضيحى لأحد حقول البخار .

٧ ـ ٣ إستغلال الطاقة الحرارية الأرضية :

تحويل المحتوى الحرارى للبخار الطبيعى إلى طاقة كهربية هو أهم طرق استغلال الطاقة الحرارية الأرضية . أما الاستخدامات الأخرى فهى فى مجالات الزراعة والتدفئة وإمدادات الماء الساخن والتسخين للأغراض الصناعية والمنزلية وعلى سبيل المثال لا الحصر يوجد خمسة وأربعون ألف منزل فى فرنسا تدفأ بواسطة المياه الحارة الطبيعية . وسيتضاعف هذا العدد فى الأعوام الخمسة القادمة وتوجد عدة أمثلة أخرى حول العالم فى الولايات المتحدة وإيطاليا ونيوزيلندة .

ومن الناحية الجغرافية فإن مصادر الحرارة الأرضية منتشرة بشكل واسع فى الدول النامية . ولم تتم الاستفادة منها بشكل اقتصادى واسع لأن الوقود التقليدى كان رخيصاً وأيضاً لأن إستغلال الحرارة الأرضية لابد أن يتم فى نفس موقع حقل إنتاج البخار الأرضى . ولكن بعد أزمة الطاقة التى تعرضت لها معظم البلدان النامية أصبح استغلال طاقة الحرارة الأرضية أوجب من الناحية الاقتصادية . ومن المتوقع أن يصل انتاج الحرارة الأرضية فى الدول النامية إلى حوالى ألفين وثلاثمائة ميجاوات فى عام ١٩٩٠ [٣١] .

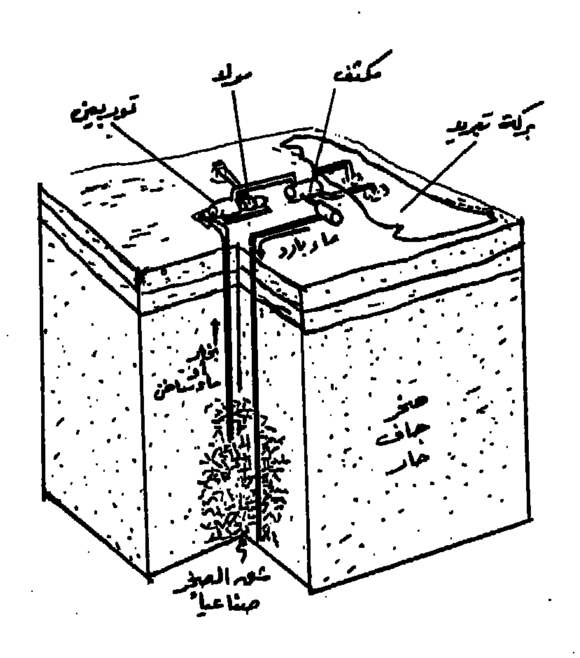
٧ ـ ٤ انشاء منابع صناعية للحرارة الجوفية :

يوجد كثير من المواضع الحارة على سطح الأرض بعضها معروف وبعضها يفترض وجوده ، حيث توجد صخور غير منفذة عند أعماق لاتتعدى عدة كيلومترات ، وتعرف بالصخور الحارة ولكنها جافة .

وطريقة إنشاء نبع للحرارة الأرضية تتم بواسطة حفر الصخور الحارة وحقنها بالماء البارد من السطح خلال بئر . ثم استعادة هذه المياه ساخنة عن طريق حفر بئر آخر خصيصاً لهذا الغرض كما يتبين ذلك من الشكل (٧ ـ ٥) .

٧ ـ ٥ مكامن الحرارة الأرضية فى اليمن :

من معالم الحرارة الأرضية أنها توجد دائماً فى المناطق البركانية التى تتميز بها اليمن حيث تغطى الصخور البركانية التابعة للعصر الثلاثى مساحة قدرها ٤٠ ألف كيلومتر مربع أى رُبع مساحة اليمن . كما توجد الصخور البركانية التابعة للعصر الرباعى فى منطقتين أساسيتين الأولى هى منطقة همدان شمال صنعاء والثانية بين ذمار ورداع وتعتبر هذه المنطقة ذات إمكانيات عالية لاستغلال الطاقة الحرارية منها حيث تنتشر بعض الحمامات الساخنة التى يتبلور فيها

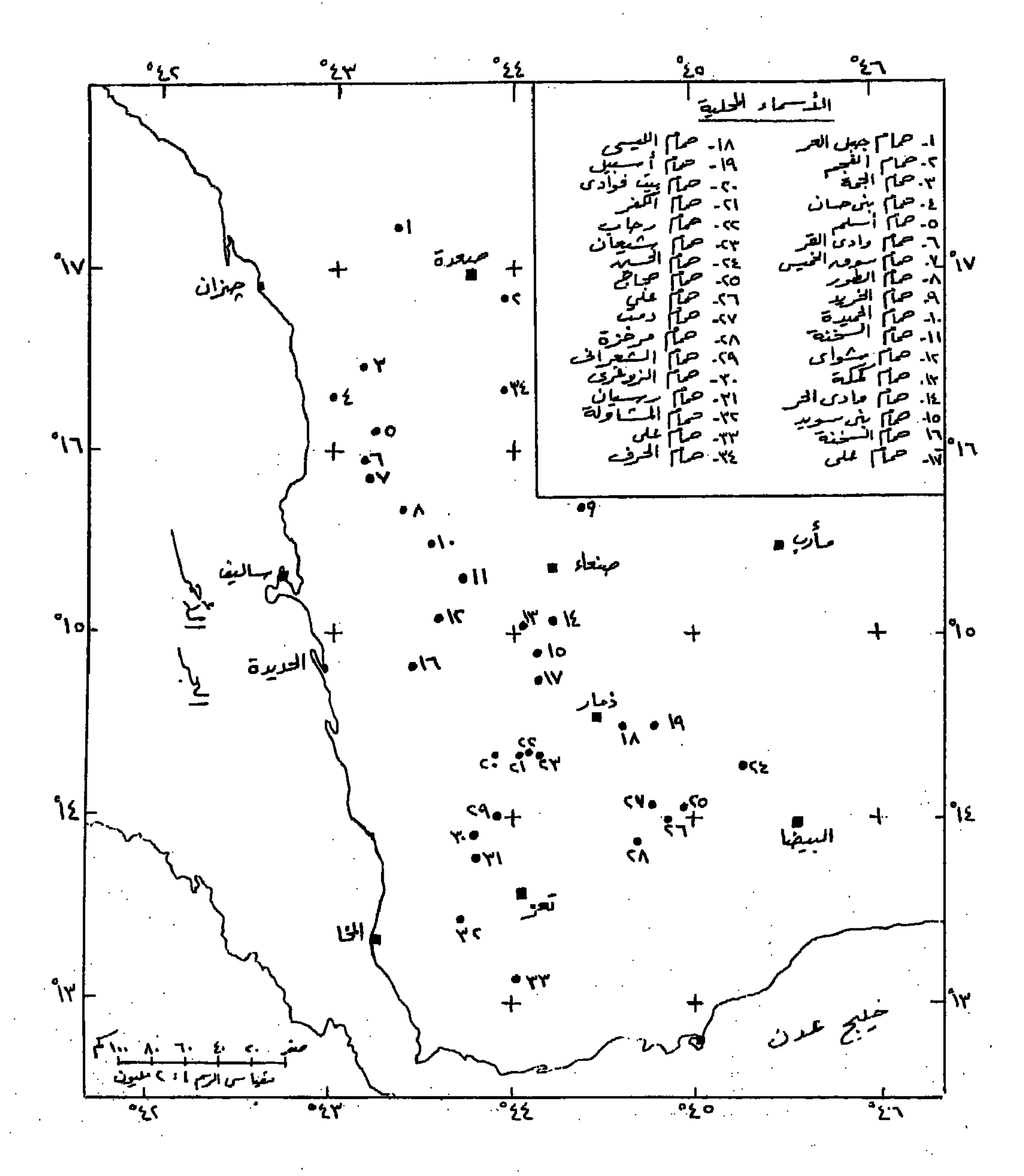


شكل (٧ ـ ٥) توليد الكهرباء من الصخر الحار الجاف بعد حفره (شقه) صناعياً .

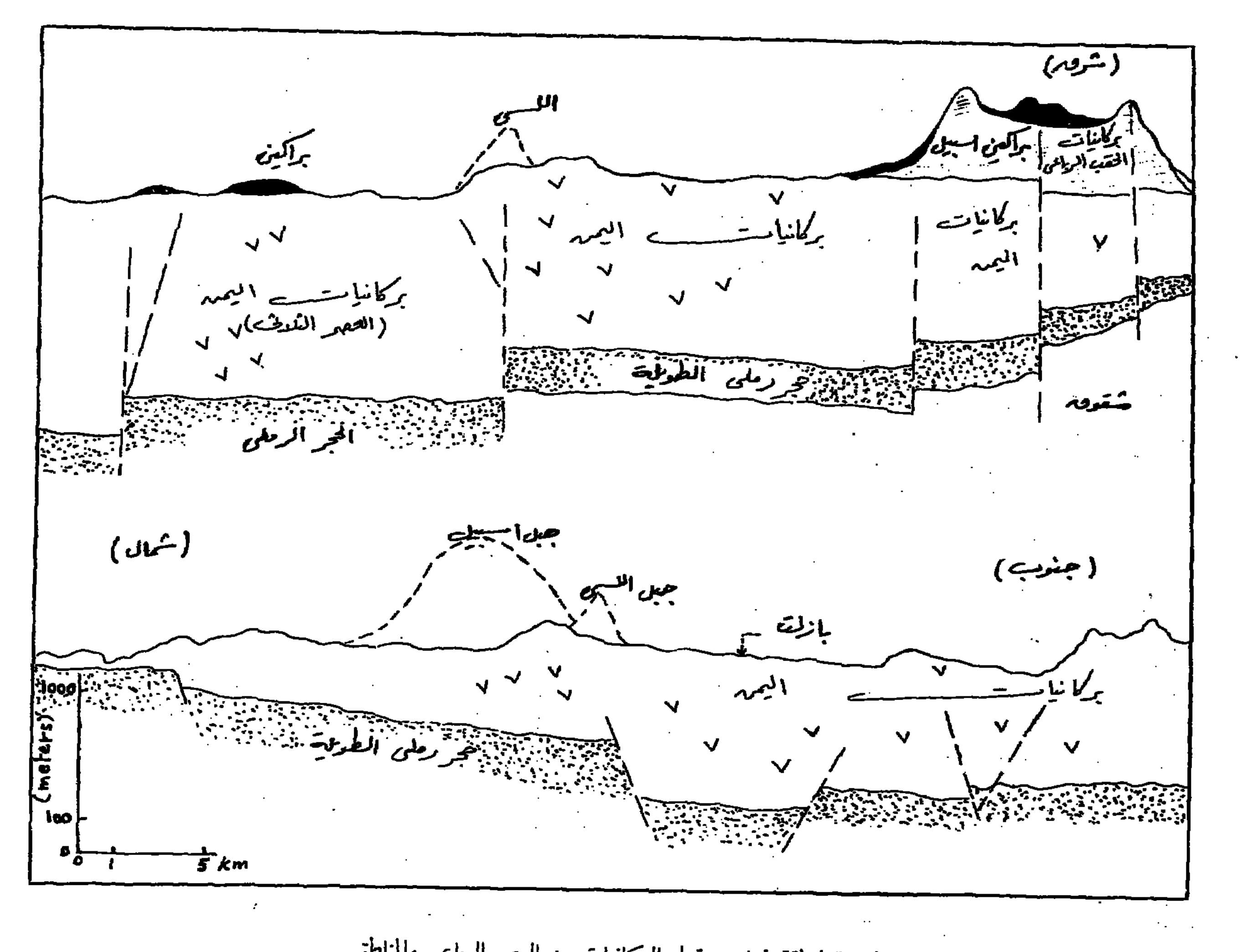
الكبريت . وتحتوى منطقة ذمار على ثلاثة براكين نشطة وذلك طبقاً لكتالوج البراكين النشطة فى العالم » وهى بركان اللسى واسبيل وحراس ذمار . ويبين الشكل (٧ ـ ٦) خريطة لتوزيع الينابيع الحارة فى اليمن [٤] .

وتعتبر محافظات صنعاء (الارتفاع = ٢٢٠٠ متر) ، مأرب (الارتفاع ١٤٠٠ متر) وذمار (الإرتفاع حوالى ٣٠٠٠ متر) حقولاً بركانية . ويوضح شكل (٧ ـ ٧) قطاعات عرضية جيولوجية لمنطقة ذمار مع براكين اللسى Lasi واسبيل Isbil ويعتبر الجيولوجيون هذه المساحة كمنطقة للزلازل وثورات البراكين . وتشتهر جبال اللسى واسبيل بحامات البخار الطبيعية . ولقد وُجد أن بخار الماء الخارج جاف ومخلوط ببخار الكبريت مما يساعد على الإستشفاء من بعض الأمراض الجلدية وأمراض الروماتيزم . كما توجد أماكن من الحديدة ، وحمام على فى لواء ذمار وفى مناطق أخرى كثيرة فى شمال اليمن وجنوبه .

وتوجد فى الجمهورية العربية اليمنية مصادر للحرارة الأرضية ذات محتوى متوسط الحرارة حسب التصنيف العالمى (من ٧٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية) وتصل فى بعض الأحيان إلى ٢٠٠ درجة مئوية [٥] .



شكل (٧ – ٦) التوزيع الجغرافى للينابيع الحارة (الحمامات) فى اليمن.



شكل (٧ ـ ٧) قطاعات عرضية جيولوجية لمنطقة ذمار وحقول البركانيات من العصر الرباعي والمناطق المغطاة ببركانيات اليمن (العصر الثلاثي).

ولإمكان استغلال حقول الحرارة الأرضية فى اليمن لابد من معرفة حجم هذه الحقول ومدى جدواها الاقتصادية . وقد أجريت دراسات مكثفة شملت عمليات المسح الجوى للمصادر الأرضية بواسطة الطائرات ومراكب الفضاء .

ولقد قامت الحكومة اليمنية بالفعل وبالإشتراك مع شركة الكتروكونسلت الإيطالية بدراسة مشروع لتوليد الكهرباء من الحرارة الأرضية فى منطقة ذمار [٦١] . وقد بدأ المشروع فى يناير عام ١٩٨١ بدراسات جيولوجية للمنطقة ودراسات كهربية لمعرفة عمق صخور القاع الأساسية والتى هى مصدر للحرارة . تلا ذلك تحليل المعلومات لإستنتاج التراكيب الجيولوجية تحت السطحية . ومن ثم تمت دراسة الآبار فى المنطقة وتحليل مياهها نظراً لوجود علاقة بين نسبة الأملاح فى المياه ومكان أقرب جسم حار إلى السطح . كما تمت دراسة نسبة تصاعد غاز البورون الذى ينطلق دوماً عند وجود حرارة عالية وكذلك عبر المتشققات الأرضية العميقة لأن مصدر الغاز هو الصخور القاعية الأساسية .

ومن أهم العوامل التى شجعت على استغلال المنطقة أنها منطقة نشطة بركانياً وأن بُركانى اللسى . واسبيل عبارة عن صخور بركانية حامضية (لها لون فاتح) ومقارنة مع البراكين التى توجد فى شمال مدينة صنعاء القاعدية التركيب (لونها غامق) والمعروف عالمياً أن البراكين الحامضية تحتوى على حقول جوفية حرارية وبعد أن أكملت الشركة الإيطالية دراساتها تم تحديد الأماكن الأكثر إحتمالاً . والمطلوب بعد ذلك أن يبدأ الحفر العميق إلى حدود ألفين إلى ثلاثة آلاف متر . وبما أن الحفر إلى هذا العمق يكلف كثيراً ونظراً لصعوبة تحديد مكان الحفر للبئر العميقة بدقة فقد رؤى أن يتم حفر من خمسة عشر إلى عشرين بئراً بعمق من ١٠٠ إلى ٣٠٠ متر فى المنطقة وملء هذه الآبار بمياه داخل أنابيب ومن ثم قياس تغير الحرارة فى هذه الآبار على أن يتم ذلك خلال فترات متباعدة .. بعد ذلك يسهل تحديد مكان البئر العميق كنتيجة للآبار الصغيرة ذات الدرجات الحرارية الأكبر .

وفكرة المشروع أن يستغل البخار فى إدارة المولدات الكهربائية التى سوف تركب فى المنطقة وعليه فمن الشروط الأساسية لنجاح المشروع :

١ ــ وجود جسم حار قريب وذو درجة حرارة كافية لتحويل الماء إلى بخار ينطلق بقوة ضغط تدير المولدات .

٢ ــ وجود خزانات مياه جوفية فوق الجسم الحار .

٣ ـ وجود منطقة إعادة تغذية المياه بدل المستهلكة فى الخزان الجوفى .

فعند توافر هذه الشروط الثلاث الأساسية يمكن أن ينطلق البخار بضغطه العالى ليدير مولدات الكهرباء ومن ثم يمكن اعادة تكثيف البخار وارساله من آبار أخرى إلى المنطقة وتسمى هذه العملية إعادة الحقن .

٧ ـ ٦ المراجع :

١ ـ E. Barbier, 'Lecture on Geothermal Energy', Conference on Non-Conventional Energy Sources, 20 June — 8 July 1983, ICTP, Trieste, Italy.

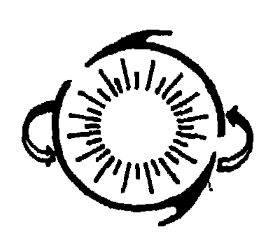
٢ ـ R.F.Flint and B.J. Skinner, Physical Geology, John Wiley, 1977.

٣ ـ 'Energy in Developing Countries', World Bank Report. Washington D.C., 1980.

٤ ـ مجلة الدراسات اليمنية ، بحث للدكتور حامد الشاطورى ، صالح الكرباش ، سيف عثمان .

٥ ـ M.R.I. Ramadan and A.G.El. Shekeil, 'Renewable Energy Resources for Yemen A.R., Part I: Available Resources', Accepted for publication, April 1983, Delta J. of Science.

٦ ـ جريدة الثورة الصنعانية . ١٥ ابريل ١٩٨٤ . ص ٣ .





الفصل الثامن

النبات كمصدر للطاقة . Plants as Source of Energy

٨ ـ ١ مقدمة :

ليس بعيداً أن تحل أشجار الطاقة محل محاصيل الغذاء التى ينتجها المزارعون فى أواخر هذا القرن . ولقد بدأ العلماء بالفعل فى البحث عن الأشجار التى يمكن أن تزرع بكميات تجارية من أجل الكيماويات عالية الطاقة التى تنتجها .

والهدف الأساسى من البحث هو العثور على نباتات تنتج مواد عضوية عالية الطاقة وسهلة الإستخلاص . ويمكن عادة الحصول على نواتج هيدروكربونية أو زيتية ، ولكن عثر فى بعض النباتات على مواد أخرى مثل البروتين الذى يمكن استعماله كغذاء للانسان أو كعلف حيوانى . كما عُثر أيضاً على بعض الألياف التى يمكن الاستفادة منها فى صناعة مواد البناء وفى صناعة الورق .

ولابد من أخذ طبيعة النبات فى الاعتبار مثل سرعة النمو . وهل هو نبات سنوى أو متعدد السنوات .

لقد جمع علماء النبات عدداً من نباتات الطاقة تجرى دراستها بطريقة منهجية كما يلى :

١ ـ يزرع النبات ويحصد كاملاً فى موسم حمله للثمر .

٢ ـ يترك النبات ليجف حتى يصبح كالهشيم .

٣ ـ يعرض النبات للاستخلاص بالأسيتون .

٤ ـ تفصل المواد الذائبة فى الأسيتون إلى قسمين بتجزئتها بين مذيب الهكسان والكحول المائى . وتذوب الزيوت النباتية فى الكهسان عامة أما تلك التى تذوب فى طبقة الكحول المائى فتحتوى على الفينولات ومتعدد الفينولات التى تنتجها الشجرة وكذلك التانينات Tannins

٥ ـ يمكن استخلاص الشجرة بالهكسان بعد استخلاصها بالأسيتون بفصل بعض الهيدروكربونات والتى قد تحتوى على شمع ومطاط وكيماويات أخرى .

إن التركيز على النباتات التى تنتج أكبر قدر ممكن من الكيماويات سيعطى نتائج مشجعة . ولقد بدأت وزارة الزراعة الأمريكية هذا النوع من الدراسات منذ عام ١٩٧٤ وجمع علماؤها حوالى ستمائة نبات يمكن أن تكون مصدراً للطاقة الكيميائية .

ومن أحسن الأمثلة على النباتات التى يمكن أن تصبح مصدر طاقة كيميائية شجرة السماق ، وهى شجرة خشبية معمرة ولكنها مصدر ممتاز لمتعدد الفينولات بما فى ذلك التانينات التى تستعمل فى صناعات الجلود أو كلواصق بقليل من المعالجة الكيميائية وكذلك كلدائن للاستعمال فى الصناعات الخشبية . ويعتقد الخبراء أن زراعة هذا النبات ستكون جدواه الإقتصادية أكبر للمزارعين من زراعة القمح أو فول الصويا وذلك لسهولة معالجته لإنتاج عدداً من النواتج الكيميائية لكل دونم من الأرض .

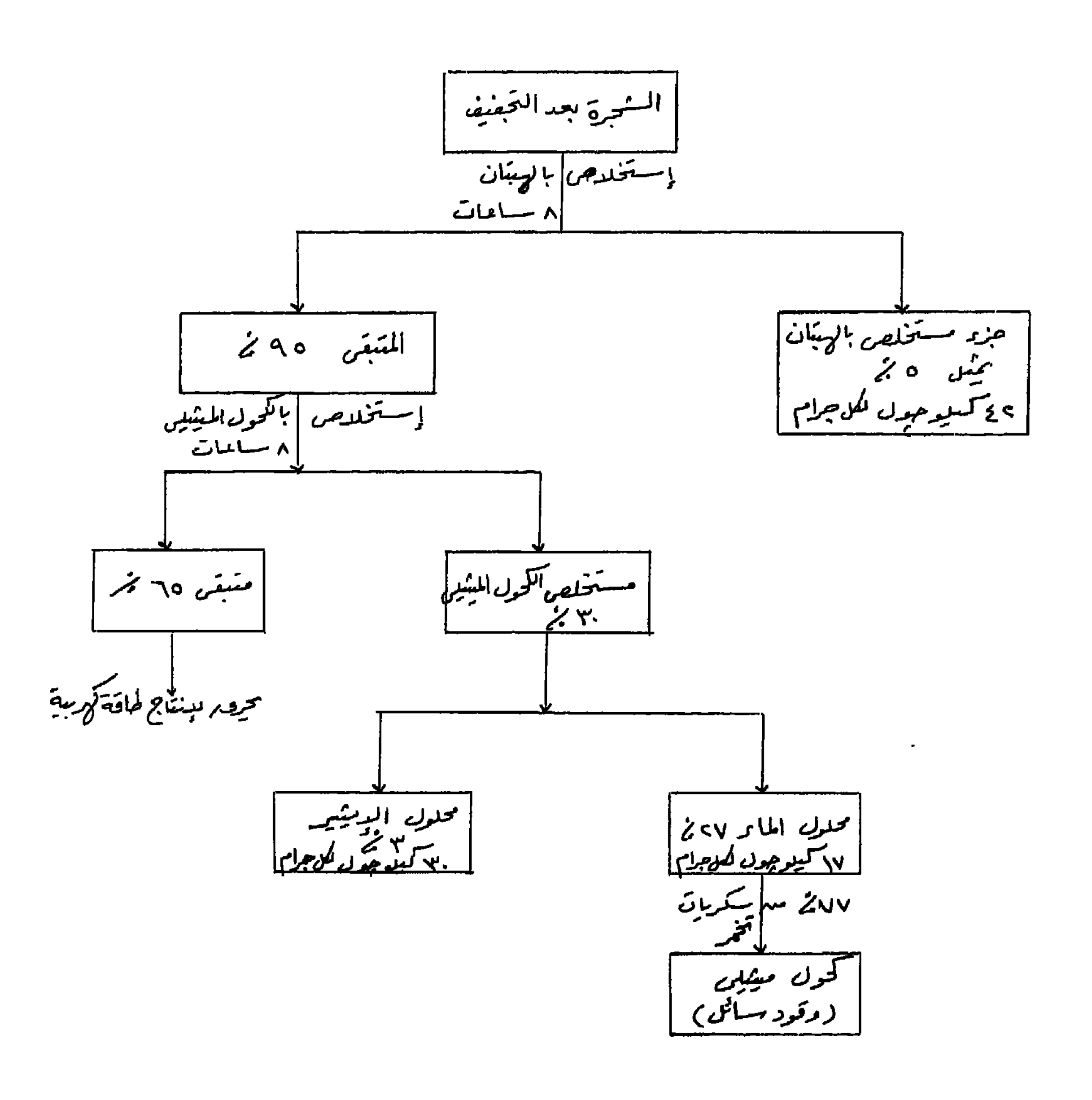
٨ ـ ٢ الفربيون : Euphorbia

الفربيون أو اليتوع عائلة نباتات منها جنس الهيفيا التى يستخرج منها المطاط . وقد وجدت أنواع من هذه العائلة فى العالم بخصائص متعددة . وينظر العالم لهذه العائلة منذ قرابة الخمسين عاماً كمصدر للوقود السائل . وتتميز نباتات هذه العائلة بسائل يشبه اللبن الدار .

وفى دراسة أجريت على أحد أنواع الفربيون E. Lathyris فى جامعة كاليفورنيا جففت الشجرة حتى أصبحت نسبة الرطوبة فيها ٤٪ واستخلصت بعد سحقها بمذيب الهبتان المغلى لمدة ٨ ساعات . والمادة التى استخلصت بالهبتان بعد فصلها بالتقطير أعطت زيت أسود ثقيل بمحتوى حرارى مقداره ٤٢ كيلو جول للجرام يشبه النفط (٤٤ كيلو جول لكل جرام) . ولقد أستخلص ٣٠٪ من وزن الشجرة الجاف فى الكحول الميثيلى

المغلى لمدة ٨ ساعات . عندما قسم ما أستخلص بالكحول الميثيلى بين الماء والإيثير وجد أن ٧٧٪ مما ذاب فى الماء من السكريات يمكن تخميرها لإنتاج الكحول الإيثيلى . وماتبقى من العملية كلها يمكن حرقه لإنتاج الطاقة الكهربية .

وقد وضحت عمليات الإستخلاص فى المخطط التالى :



٨ ـ ٣ الغابة كمصدر للطاقة :

عاش العالم كله على الخشب فى الطهى والتدفئة منذ قديم الزمان . وحتى فى القرن العشرين فلازال للخشب دور فى الطاقة يمكن أن يلعبه خاصة إذا علمنا أن ٩٦٪ من الطاقة المستهلكة فى تنزانيا من الخشب وكذلك ٣٠٪ من طاقة الهند . وأن الغابات تغطى عُشر سطح الأرض وأن الخشب يمثل نصف طاقة الكتلة البيولوجية التى تحصل عليها الأرض .

وكوسيلة للوفاء بالمتطلبات يرى خبراء علم الغابات زراعة الأشجار السريعة النمو . إن تخطيط زراعة الأشجار بطريقة ذكية يمكن أن يعطى نتائج رائعة . « إذا قامت القيامة وفى يد أحدكم فسيلة فليغرسها » حديث شريف .

إن أكثر محاصيل الطاقة شيوعاً فى الدول العربية هو حطب الوقود . ومن المعروف أن غالبية أشجار الوقود التى تنمو فى البيئة العربية تتمتع بمواصفات جيدة من ناحية إعطاء إنتاجية معقولة إذا مازرعت بطريقة مكثفة وأنها شديدة القدرة على الإحتمال كما أنها تقاوم الأمراض الشائعة والحشرات والأجواء المناخية القاسية .

٨ ـ ٤ زيت زهرة عباد الشمس :

يتوقع الخبراء استخدامه كبديل للبترول ، وخاصة فى مجال تسيير المركبات ، فمن السهل استخدامه كوقود للجرارات الزراعية بدلاً من زيت الديزل . وفى جنوب أفريقيا أجريت تجارب على هذا الزيت ، وأكدت هذه التجارب أن معظم الجرارات يمكن ادارتها بزيت عباد الشمس وبدون إدخال أى تغييرات على آلات الجرار . كما أن كمية زيت عباد الشمس لن تزيد كثيراً عن الكمية المستخدمة لتسيير الجرار المسافة نفسها من زيت الديزل .

ومن المتوقع أن تتساوى أسعار زيت عباد الشمس مع زيت الديزل خلال العام الحالى بسبب زيادة أسعار البترول . ولذلك سيجد زيت عباد الشمس طريقاً نحو الاستخدام الواسع النطاق ، خاصة لو تمكن الخبراء من خفض تكاليف إنتاجه وذلك بالتوسع فى زراعته واستنباط أنواع جديدة منه لتساير الإنتاج الاقتصادى لهذا المحصول الحيوى .

٨ ـ ٥ الطحالب :

تغطى المحيطات ٧١٪ من سطح الكرة الأرضية ، وقد بدأ العلماء فى التفكير فى

المحيطات كمصادر للموارد الأولية وكمصادر للطاقة مع بوادر نضوب الموارد الطبيعية على اليابسة ومع تفاقم أزمة الطاقة .

ولعل معدلات نمو بعض الطحالب الضخمة قد دفع بمحاولات جادة لزراعتها فى المحيط . وقد بدأت الولايات المتحدة فى ولاية كاليفورنيا مشروعاً تجريبياً لزراعة الطحلب البحرى الجبار على ربع فدان فى المحيط وكانت النتائج باهرة ويأمل المشرفون على المشروع أن يحل محل هذه المزرعة التجريبية الصغيرة مزرعة فعلية فى المحيط للطحلب البحرى الجبار تبلغ مساحتها ٤٦٠ ميلا مربعا . إن مزرعة بهذه المساحة يمكن أن تنتج نظرياً كمية من الغاز الطبيعى تساوى الكمية التى تستهلكها كل الولايات المتحدة الأمريكية مجتمعة حالياً .

ويمكن أن تجمع الطحالب وتجفف وتستعمل فى تغذية الطيور والماشية وتستعمل كنوع من الأسمدة* وكنوع من الوقود كما تستخرج منها بعض العناصر النافعة كاليود والحديد والكالسيوم وغيرها من مواد الطلاء والدواء .

وقد قدر (جافرون) فى عام ١٩٤٩ المحصول السنوى لمزرعة مائية لطحلب « كلوريلـلا » مساحتها فدان واحد بخمسين طناً من الوزن الجاف نصفها من البروتين وتحتوى على ١٠٪ دهون . وهذا المحصول يزيد عدة أضعاف على أى محصول زراعى جزيل العطاء مما يجعل من عملية استزراع الطحالب مشروعاً مربحاً يسترعى الأنظار تخطط من أجله البرامج وترصد له الأموال .

وتوجد طحالب منتجة للدهون ، خصوصاً بعض الأنواع الخضراء . وقد جربتها ألمانيا الغربية أثناء الحرب العالمية الثانية فى مزارع كبيرة ووجد أن من بين الطحالب الكثيرة الانتاج للدهون الطحلبان كلوريلـلا وسينودزمس وهما من الطحالب الخضراء .

لقد منّ الله على العالمين العربى والإسلامى بشواطىء شاسعة وبحار غنية وثروات مالية وإمكانيات بشرية . ولقد آن الأوان لشحذ الهمم والتشمير عن سواعد الجد والعمل للحاق بالركب العلمى والإلتفات إلى البحار لحل مشكلتى الطاقة والغذاء .

٨ ـ ٦ الهرمونات النباتية :

لقد عكس التطور الرائع فى العلوم الطبيعية نفسه على العلوم التطبيقية وهكذا نرى العلوم الزراعية مزدهرة فى ظل ازدهار الكيمياء وتقنياتها .

وباستعمال الهرمونات النباتية يمكن أن تجرى عمليات استنبات طبيعى كانت تستغرق عدة سنوات خلال بضع دقائق وتحدث ثورة فى الإنتاجية والأرباح والزراعة . ولعل مستقبل الشجرة كمصدر للطاقة باهر وأيامه مشرقة بعد أن توصل العلماء إلى مايشبه المعجزات فى دراسة الهرمونات وأثرها على النبات .

إن للسماد والرى والمبيدات الحشرية ومبيدات الحشائش أثر فى نمو النبات . ولكن للهرمونات آثار أخرى عجيبة ومكاسب جديدة تماماً . فقد تؤدى مجموعة من الهرمونات إلى نمو الجذور وقد تؤدى مجموعة أخرى إلى نمو السوق وقد تؤدى مجموعة ثالثة إلى تساقط الثمار ورابعة إلى مكافحة الحشرات الضارة .

وأول مجموعة من الهرمونات النباتية تم التعرف عليها هى مايعرف بالأكسين الذى ينتج فى الأوراق وقمم الأغصان وقد وجد أنه يشجع أجزاء النباتات المختلفة على النمو والنضج بمعدلات مناسبة معاوناً على تكوين البراعم ومانعاً لتساقط الأوراق بصفة نهائية .

كذلك يؤثر الضوء على نمو النبات من خلال طائفة من الهرمونات تسمى الجبريللينات ، وتؤتى بحوث الهرمونات ثمارها الملموسة فى مجالات كثيرة مثل تحسين الثمار وسرعة الإستنبات ووفرة الإنتاج .

٨ ـ ٧ نباتات الطاقة :

من النباتات التى أعطت نتائج مشجعة نبات الحور poplar ، إيكاليبتص eucalyptus ، جار الماء alder ، شجرة الحور القطنى cottonwood ، شجر الجميز sycamore . وقد أثبتت شجرة ايكاليبتص أنها الأسرع نمواً . وتقترح بعض الخطط زراعة الأشجار بصورة مكثفة (بمعدل يصل إلى ٢٥,٠٠٠ للهكتار الواحد) وحصدها كل ثلاث أو أربع سنوات بصورة مستمرة ومنتظمة . ويعتمد اختيار نوع الشجرة المطلوبة على عدة عوامل منها المناخ والمنطقة والعوامل البيئية الأخرى .

٨ ـ ٨ الوقود السائل من النبات :

يتكون الجزء الأكبر من الأشجار السريعة النمو فى الغالب من الكربوهيدرات وخاصة السليولوز . وتعتمد كثير من برامج استخدام الكتلة البيولوجية على حرق الكتلة البيولوجية الناتجة لإنتاج بخار يستعمل فى تحريك توربينات لإنتاج الطاقة الكهربائية . وعندما يكون

هذا هو الهدف الأساسى فلا داعى لتحويل الكتلة البيولوجية إلى وقود سائل أو يحتوى على كمية أكبر من الطاقة الحرارية .

وحتى تستطيع التكنولوجيا الحديثة تطوير بطاريات كيميائية تتمتع بالخفة والصغر والرخص ويمكن الإعتماد عليها مع كونها إقتصادية فإن العالم بأسره سيظل معتمداً على الهيدروكربونات السائلة فى تسيير المركبات والسيارات . إضافة إلى أن العمليات الصناعية الكيميائية فى حاجة للهيدروكربونات السائلة كمادة أولية . ولذا فالعالم يبحث عن مصادر للهيدروكربونات السائلة . ولعل الأشجار تحقق الأمل فى أن تصبح يوماً ما مصدراً بديلاً لهذه الهيدروكربونات .

٨ـ ٩ الهيدروكربونات من النبات :

البديل الأمثل لتحويل الكربوهيدرات من النباتات الخضراء إلى وقود سائل هو إستخدام نباتات تقوم بهذا التحويل حيوياً . ولعل شجرة المطاط Hevea هى أحسن الأمثلة لشجرة تنتج كميات ضخمة من الهيدروكربونات التى يستخدمها الإنسان . ويُستخرج المطاط أيضاً من شجرة Guayule وتقوم عليه صناعة متطورة فى المكسيك .

وتنتج نباتات كثيرة معروفة بذوراً زيتية تستعمل عادة للأكل مثل النخيل palm trees ، القطن ، بذر اللفت rape seed ، القرطم أو العصفر safflower ، الذرة الشامى maize ، الفول السودانى peanut وغيرها كثير .. ويمكن استعمال جميع الزيوت الناتجة كوقود بديل للديزل إضافة إلى استعمالها كمادة غذائية .

وهناك أشجار تنتج مواداً زيتية فى جذوعها مباشرة يمكن أن تستعمل كوقود ديزل مثل أشجار الكيبية Copaifera التى تنمو فى المناطق الاستوائية خاصة البرازيل ويستخرج منها زيت ذو وزن جزيئى منخفض بعمل فتحة فى جذعها ويستعمل مباشرة كبديل للديزل فى مكائن الاحتراق الداخلى .

٨ـ ١٠ إنتاج الإيثانول بالتخمر :

البرازيل هى أكثر بلدان العالم إستخداماً لسكر القصب لإنتاج الإيثانول (الكحول الإيثيلى) بالتخمر . ويُضاف الإيثانول إلى قطفات البترول وخاصة وقود السيارات (جازولين) للحصول على جازوهول gasohol .

ويشكل تحويل الكربوهيدرات من الكتلة البيولوجية إلى ايثانول ، كوقود سائل مفيد ، مصدراً مهماً من الوقود السائل المتجدد لبلدان معينة فى ظروف اقتصادية خاصة . كما أن الإيثانول مصدراً مفيداً للمواد الأولية الكيميائية لبعض الصناعات مثل بولى إيثيلين .

ويمثل سكر المائدة (السكروز) عادة المادة الأساسية لإنتاج الإيثانول بالتخمر كما يستعمل السليلوز بعد تحويله إلى جلوكوز لنفس الغرض كما فى المعادلة التالية :

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2$$

جلوكوز　　　إيثانول　　　ثانى أكسيد الكربون

٨ ـ ١١ الميثانول من الخشب :

يحضر الميثانول (الكحول الميثيلى) بواسطة التقطير الإتلافى للخشب والمواد السليلوزية ولكن بكفاءة إنتاجية منخفضة نسبياً . ويبدو أن هدرجة السليلوز ستعطى مقداراً أكبر من الميثانول ونواتج أخرى مفيدة وتعتمد هذه العملية على توفر الهيدروجين بصورة إقتصادية بطبيعة الحال . والهيدروجين نفسه وقود رائع ومادة أساسية أولية فى الصناعة (أنظر الباب التاسع) .

٨ ـ ١٢ هيدرة السليلوز :

بُذلت محاولات كثيرة لتحويل السليلوز اقتصادياً إلى جلوكوز . وإحدى استعمالات الجلوكوز الناتج هى تخميره للحصول على الإيثانول . ويتحول السليلوز بعد أن يُطحن جيداً بتأثير الإنزيمات السليلوزية والسليوبياس cellobiase إلى الجلوكوز . ويمكن الحصول على هذه الإنزيمات من كائنات مختلفة organisms مثل الفطر Trichoderma Viride .

٨ ـ ١٣ المراجع :

١ ـ العربى ، العدد ٣٠٦ مايو ١٩٨٤ ص ٩٨ . استغلال البحار .

٢ ـ عالم مابعد البترول ، تأليف دنيس هيز ، ترجمة حاتم نصر فريد مكتبة غريب ، الفجالة ـ مصر .

٣ ـ Non-conventional Energy Conference Proceedings, ICTP, Trieste, Italy, 1981.

٤ ـ Chemical and Engineering News, Aug. 29, 1983.



الفصل التاسع

طاقة الهيدروجين Hydrogen Energy

٩ ـ ١ تواجد الهيدروجين

يحوز غاز الهيدروجين كل المقومات التى تجعله وقودًا ناجحًا . فهو الأخف والأنظف ، ومن الممكن تحويله إلى أشكال أخرى من الطاقة بكفاءة تامة . ويعتبر الهيدروجين أيضًا من أكثر العناصر تواجدًا فى الكون ، فكثير من النجوم والكواكب تتكون من الهيدروجين تمامًا أو تحتوى على نسبة عالية منه . ففى كوكب الشمس مثلا يعتبر الهيدروجين أكثر العناصر انتشارًا . وتنتج الطاقة الشمسية بواسطة إندماج أنوية الهيدروجين وتكون عنصر الهليوم وإنطلاق الطاقة التى تمثل الفرق فى الكتلة . وحتى الجو بين النجوم يحتوى على جزىء هيدروجين فى كل سنتيمتر مكعب .

ولكن على الأرض ، لا يوجد الهيدروجين كعنصر مستقل . فهو يوجد فى الغاز الطبيعى بنسب صغيرة . ويكون الهيدروجين ٢, .٪ من الجو [١] . ويعتبر هذا كمًا صغيرًا بالنسبة لإحتياجات العالم من الطاقة . ويوجد الهيدروجين بوفرة كبيرة متحدا مع الأكسجين على شكل مياه فى المحيطات والبحار والأنهار . وعلى ذلك فلابد من استخلاص الهيدروجين من الماء باستخدام أحد المصادر الأولية .

٩ ـ ٢ أنظمة إستخدام طاقة الهيدروجين Hydrogen Energy System

إن مصادر الطاقة البديلة (المتجددة) ليست كالوقود الأحفورى من ناحية توفره فى كل وقت حسب الحاجة . فالطاقة الشمسية مثلاً ، تتواجد فى ساعات النهار عندما تكون

السماء صافية . وعندئذ أيضًا تختلف شدة الإشعاع الشمسى الساقط بإختلاف الوقت وفصول السنة . وعلى ذلك فلابد من تخزين الطاقة الشمسية لاستخدامها فى غياب الإشعاع الشمسى . ومن هذا المنطلق اتجه كثير من الباحثين إلى إيجاد نظام وسيط تختزن بواسطته الطاقة من المصادر المتجددة الأولية لحين استخدامها فى قطاعات الحياة المختلفة . ولقد وجدوا ضالتهم فى الهيدروجين . فهو أرخص أنواع الوقود المحضر صناعيًا نسبة إلى كمية الطاقة المخزونة فيه . إضافة إلى أنه خال من التلوث . وخلال السنوات العشر الماضية . اتجهت الجهود نحو زيادة البحث لإختبار أنظمة إستخدام طاقة الهيدروجين وتطبيقاتها .

ويبين الجدول (٩ ـ ١) المقارنة بين الهيدروجين (غاز وسائل) وبين الوقود الأحفورى السائل (البترول) والغازى (الغاز الطبيعى) [٢]. ويعتبر الهيدروجين وقودًا مناسبًا لآلات الإحتراق الداخلى . وتوربينات الغاز والمحركات النفاثة .

جدول (٩ ـ ١)

مقارنة بين خواص الهيدروجين ، والبنزين ، والغاز الطبيعى

الخاصية	البنزين	الغاز الطبيعي	الهيدروجين
الكثافة (كجم متر^{٣})	٠.٧٣ × ١٠^{٣}	٠.٧٨	غاز ٠.٠٨٤.٠٠ سائل ٠.٧١ × ١٠^{٢}
نقطة الغليان (درجة مئوية)	٣٨ / ٢٠٤	ـ ١٥٦	ـ ٢٥٣
القيمة الحرارية الصغرى: الوزن (كيلو جول/كجم) الحجمى (كيلو جول/متر^{٣})	٤.٤٥ × ١٠^{٤} ٣٢.٠ × ١٠^{٦}	٤.٨٠ × ١٠^{٤} ٣٧.٣ × ١٠^{٣}	١٢.٥٠ × ١٠^{٤} غاز ١٠.٤٠ × ١٠^{٣} سائل ٨.٥٢ × ١٠^{٦}
حدود الإشتعال (النسبة المئوية فى الهواء)	١.٤ ـ ٧.٦	٥ ـ ١٦	٤ ـ ٧٥
سرعة اللهب (متر/ثانية)	٠.٤٠	٠.٤١	٣.٤٥
درجة حرارة اللهب فى الهواء (درجة مئوية)	٢١٩٧	١٨٧٥	٢٠٤٥
درجة حرارة الاشتعال (درجة مئوية)	٢٥٧	٥٤٠	٥٨٥
نورانية اللهب	عالية	متوسطة	منخفضة

٩ ـ ٣ إنتاج الهيدروجين

يتم الحصول على الهيدروجين من الماء بتحلله إلى عنصريه الأكسجين والهيدروجين حسب التفاعل الكيميائى التالى :

H_2O + طاقة ⇄ H_2 + $\frac{1}{2}O_2$

ماء ‏ ‏ ‏ ‏ هيدروجين ‏ ‏ ‏ ‏ أكسجين

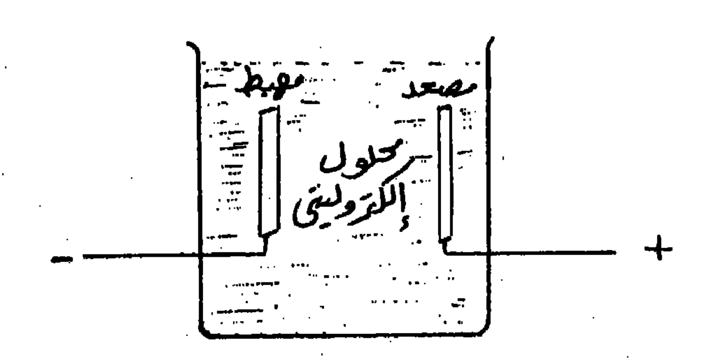
وترتبط فى جزىء الماء ذرتى هيدروجين بذرة أكسجين واحدة بروابط كيميائية متينة . يلزم لفصل الهيدروجين عن الأكسجين إعطاء جزىء الماء كمية من الطاقة تكفى لتحطيم هذه الرابطة (التفاعل من اليسار إلى اليمين فى المعادلة السابقة) .

ويمكن الحصول على هذه الطاقة ثانية بمفاعلة الهيدروجين مع أكسجين الهواء أى بحرقه . أى يحدث هنا تفاعل معاكس (أى التفاعل من اليمين إلى اليسار) فتتحد ذرتى هيدروجين بذرة أكسجين واحدة لتشكيل جزىء ماء وينتج عن هذا التفاعل كمية من الطاقة مساوية لتلك التى بُذلت فى تحلل الماء .

١ ـ تحضير الهيدروجين بالتحلل الكهربى للماء :

تعتبر هذه الطريقة أبسط الطرق المعروفة للحصول على الهيدروجين من الماء وأكثرها إنتشارًا .

يُظهر الشكل (٩ ـ ١) جهاز مخبرى بسيط لتحليل الماء كهربيًا . يُسمى مثل هذا الجهاز بخلية التحليل الكهربى . وتتألف هذه الخلية من وعاء زجاجى يحوى محلول إلكتروليتى (محلول حمضى أو قلوى) .



شكل (٩ ـ ١) خلية تحليل كهربى

يحتوى الوعاء على قضيبين أو صفيحتين من البلاتين ، يتصل أحدهما بالقطب الموجب لمولد كهربائى ويسمى (المصعد) ، والآخر بالقطب السالب للمولد الكهربائى ويسمى المهبط . وإذا كان فرق الجهد بين المصعد والمهبط حوالى $1\frac{1}{2}$ فولت بإمرار تيار كهربى فى

الدائرة نلاحظ تصاعد فقاعات من غاز الهيدروجين على المهبط ، وفقاعات من غاز الأكسجين على المصعد . ويكون ذلك نتيجة تحلل الماء فى المحلول الالكتروليتى إلى أيونات الهيدروجين الموجبة وأيونات الأكسجين السالبة .

وتنتقل أيونات الهيدروجين إلى المهبط لتأخذ منه إلكترونات (يكتسب كل أيون إلكترون واحد) وتتحول إلى ذرات هيدروجين . وتتحد كل ذرتين لتكونا جزىء هيدروجين يتصاعد عند المهبط . أما أيونات الأكسجين فتتجه إلى المصعد حيث تعطى له إلكترونات (يفقد كل أيون إلكترونين) وتتحول بالتالى إلى ذرات فجزيئات تتصاعد عند المصعد بنفس طريقة غاز الهيدروجين .

وتتألف أجهزة التحلل الكهربى فى الصناعة من عدد كبير من خلايا متشابهة من ناحية التركيب ومبدأ عملها كتلك المبينة فى الشكل (٩ ــ ١) ولكنها تختلف عنها بطبيعة المواد المستعملة فيها إذ تستعمل معظم هذه الأجهزة الفولاذ كمهبط والنيكل كمصعد . أما الألكتروليت المستعمل فهو غالبًا محلول مائى لأملاح البوتاسيوم . تبلغ درجة الحرارة فى هذه الخلايا ٦٠ إلى ٩٠ درجة مئوية . كما يبلغ فرق الجهد بين المصعد والمهبط ١.٩ إلى ٢.٣ فولت وشدة التيار الكهربى المار فى وحدة السطح من المصعد أو المهبط ١٥٠ إلى ٢٠٠ ملى أمبير لكل سنتيمتر مربع . ويستهلك إنتاج واحد متر مكعب من غاز الهيدروجين (فى درجة ٢٥ مئوية وضغط جوى نظامى) فى معظم الأجهزة المنتشرة فى وقتنا الحاضر كمية من الكهرباء تتراوح بين ٤.٥٠ إلى ٤.٨٥ كيلو وات ساعة . وهذا ما يجعل تكاليف إنتاج الهيدروجين حسب هذه الطريقة بالأجهزة المتوفرة مرتفع نسبيًا لذلك تتركز الأبحاث حاليًا على تحسين المردود لهذه الخلايا .

ويتعلق مردود أجهزة التحلل الكهربى (كمية الهيدروجين المنتجة / كمية الكهرباء اللازمة) بفرق الجهد بين المصعد والمهبط وبكثافة التيار الكهربى (أى شدة التيار المار فى وحدة السطح بين المصعد والمهبط) . فيزداد هذا المردود بازدياد كثافة التيار الكهربى حيث يؤدى إلى زيادة سرعة تحلل الماء . كما يزداد المردود بانقاص فرق الجهد (*) أى يتناسب معه عكسيًا . لذا فإنه يلزم لتحسين المردود انقاص فرق الجهد مثلاً على أن تبقى كثافة التيار الكهربى ثابتة أو تزداد قيمتها . أو زيادة كثافة التيار مع إبقاء فرق الجهد ثابتًا . إلا أن تحقيق ذلك عمليًا أمرًا صعبًا جدًا . إذ تؤدى أى زيادة لكثافة التيار الكهربى إلى رفع فرق

(*) فرق الجهد هو مقياس لكمية الطاقة الكهربية المستهلكة .

الجهد . ومازالت هذه الطريقة وتحسينها هدفًا للبحث العلمى من أجل تحسين المردود وخفض تكاليف إنتاج الهيدروجين .

ومن جهة ثانية تمكن العلماء من إدخال تحسينات جذرية أكثر على المردود بإنتاج وتطوير الكترووليت صلب وإحلاله محل الالكتروليت السائل .

٢ ـ تحلل الماء حراريا :

يلزم لتحلل الماء إلى عنصريه بالتسخين المباشر تسخينه لحوالى ٣٥٠٠ درجة مئوية أو أكثر . إلا أن الوصول إلى هذه الدرجة ليس سهلا كما أنه يصعب إيجاد أوعية أو مواد تتحمل هذه الدرجة المرتفعة من الحرارة . لذلك يحاول العلماء تجنب هذه الصعوبة بإجراء تفاعل التحلل الحرارى على عدة مراحل . على أن يستعمل حفاز كيميائى (*) أو أكثر يمكن بواسطته إجراء التفاعل فى درجات حرارة أقل .

ويمكن توضيح هذه الطريقة بالمثالين التاليين :

مثال ١ : الحفازات هى أكسيد الحديديك Fe_2O_3 وثانى أكسيد الكبريت SO_2

يتم التفاعل على مرحلتين . فى المرحلة الأولى يتفاعل أكسيد الحديديك مع ثانى أكسيد الكبريت والماء عند ١٢٠ درجة مئوية معطيًا كبريتات الحديدوز $Fe\,SO_4$ وينطلق غاز الهيدروجين (التفاعل ١) .

فى المرحلة الثانية تتحلل كبريتات الحديدوز بتسخينها إلى ٧٠٠ درجة مئوية معطية أكسيد الحديديك وثانى أكسيد الكبريت من جديد وينطلق غاز الأكسجين (التفاعل ٢) .

والنتيجة الإجمالية هى تحلل الماء إلى عنصريه الهيدروجين والأكسجين فى ٧٠٠ درجة مئوية .

التفاعل (١) $$Fe_2O_3 + 2SO_2 + H_2O \xrightarrow{١٢٠^\circ م} 2\,Fe\,SO_4 + H_2$$

التفاعل (٢) $$2\,Fe\,SO_4 \xrightarrow{٧٠٠^\circ م} Fe_2O_3 + 2SO_2 + \frac{1}{2}O_2$$

النتيجة الإجمالية $$H_2O \xrightarrow{٧٠٠^\circ م} H_2 + \frac{1}{2}O_2$$

(*) يقوم الحفّاز الكيميائى بتسريع تفاعل ما أو تغيير الشروط (حرارة . ضغط .. إلخ) اللازمة لحدوث هذا التفاعل . فى نهاية التفاعل يبقى الحفاز بدون أى تغيير.

مثال ٢ : الحفازات هى بروميد الكالسيوم $CaBr_2$ والزئبق Hg . فتتم عملية تحلل الماء فى هذا المثال على أربعة مراحل تبينها المعادلات التالية :

$$1.\ CaBr_2 + 2H_2O \xrightarrow{٧٣٠° م} Ca(OH)_2 + 2HBr$$

$$2.\ Hg + 2HBr \xrightarrow{٢٥٠° م} HgBr_2 + H_2$$

$$3.\ HgBr_2 + Ca(OH)_2 \xrightarrow{٢٠٠° م} CaBr_2 + HgO + H_2O$$

$$4.\ HgO \xrightarrow{٦٠٠° م} Hg + \frac{1}{2}O_2$$

النتيجة الإجمالية $$H_2O \xrightarrow{٧٣٠° م} H_2 + \frac{1}{2}O_2$$

فنلاحظ أن أعلى درجة حرارة نحتاجها هى ٧٣٠° م كما نلاحظ أن الهيدروجين ينتج فى المثالين السابقين فى مرحلة تختلف عن تلك التى ينتج فيها غاز الأكسجين وبالتالى فلا يحدث أى إمتزاج لهما .

٣ ـ تحضير الهيدروجين بتأثير الأشعة الشمسية مباشرة :

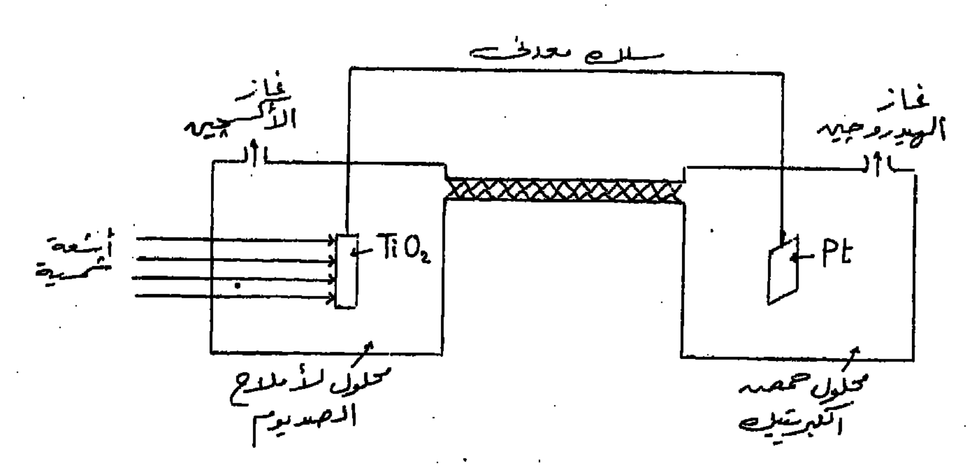
تأخذ النباتات الخضراء أثناء عملية التمثيل الضوئى التى تقوم بها غاز ثانى أكسيد الكربون الموجود فى الهواء وترجعه بعد عدد من التفاعلات الكيميائية المعقدة إلى السكريات والنشويات . ويستمد النبات الطاقة اللازمة لعملية التمثيل الضوئى هذه من الأشعة الشمسية . لذلك فإن هذه العملية لا تتم إلا فى النهار عندما تتوفر أشعة الشمس . أما الهيدروجين اللازم لعملية الإرجاع فيحصل عليه النبات من الماء بعد تحلله إلى عنصريه . وما يهمنا هنا هو هذا التحلل إلى هيدروجين وأكسجين فكيف يتم هذا التفاعل ؟ إن الماء لا يمتص إلا جزءًا ضئيلا من الأشعة الشمسية وبالتالى فإنه لا يتحلل لمجرد تعرضه لها . من الضرورى إذا وجود جسم ما(عامل مساعد) قادر على إمتصاص الأشعة الشمسية وإعطاء طاقتها إلى الماء . وبالفعل فإن جميع النباتات التى تقوم بعملية التمثيل الضوئى تحتوى على مادة الكلوروفيل التى تقوم بعملية الوساطة المذكورة .

ويمكن تلخيص هذه العملية بواسطة النباتات الخضراء بالمعادلة التالية :

ماء + أشعة شمسية $\xrightarrow{\text{الكلوروفيل}}$ هيدروجين + أكسجين

ولقد حاول العلماء إجراء عملية التحلل هذه صناعيًا ، لذلك بحثوا طويلاً عن مركبات كيميائية يمكنها أن تحل محل الكلوروفيل وأن تقوم بدور الوساطة وبالفعل فقد وجدوا أنه بإمكان بعض الأملاح المنحلة فى الماء القيام بهذا الدور . تتأين هذه الأملاح

عند إذابتها فى الماء إلى أيونات موجبة وأخرى سالبة . وتحت تأثير الأشعة الشمسية تأخذ هذه الأيونات أو تعطى إلكترون أو أكثر من أو إلى جزىء الماء مؤدية إلى تحللها وإنتاج الهيدروجين والأكسجين .



شكل (٩ ـ ٢) جهاز لتحضير غاز الهيدروجين بتأثير الأشعة الشمسية مباشرة

يشبه الجهاز المبين فى شكل (٩ ـ ٢) بعد تعرضه للأشعة الشمسية خلية تحليل كهربى ، حيث تجرى فيه التفاعلات التالية :

تفاعل على ثانى أكسيد التيتانيوم : $H_2O \rightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2\bar{e}$

تفاعل على صفيحة البلاتين : $2\bar{e} + 2H^+ \rightarrow H_2$

النتيجة الإجمالية : $H_2O + \text{ضوء} \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$

(حيث $\bar{e}$ = الكترون)

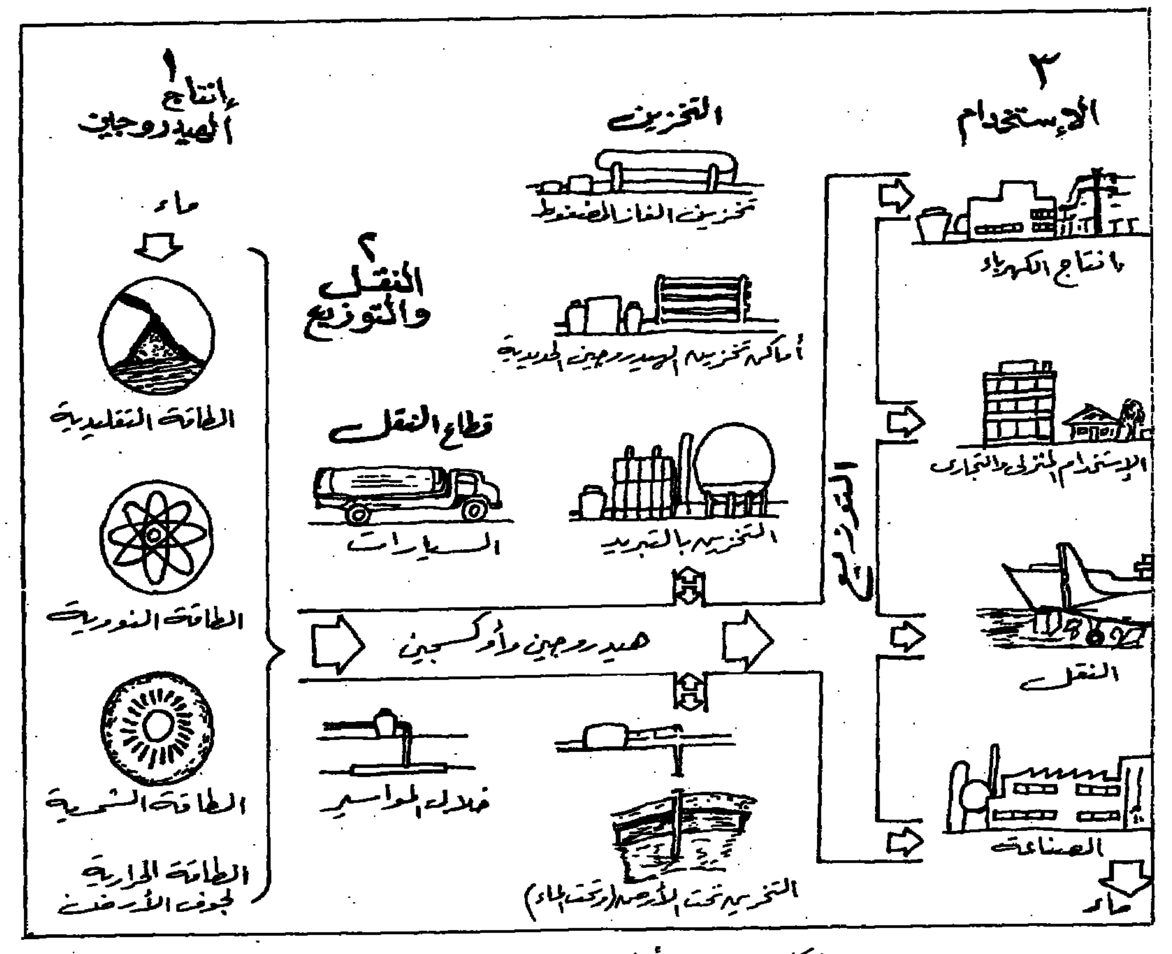
وكنتيجة لإستخدام إحدى هذه الطرق يتحلل الماء إلى عنصرية الهيدروجين والأكسجين ، ثم يُنقل الهيدروجين ويُخزن ، ويوزع على المستهلكين ، حيث يمكن إستخدامه فى معظم التطبيقات التى يستخدم فيها الوقود الأحفورى .

وبعد إستخدام الهيدروجين كوقود يتحول إلى بخار الماء (بواسطة إتحاده مع الأكسجين) والذى يعود مرة أخرى إلى الأرض على شكل أمطار . والأكسجين المنتج من الممكن الإستفادة منه كمنتج ثانوى عن طريق نقله إلى المراكز المدنية والصناعية وأيضًا لإزالة تلوث البحيرات والأنهار وفى عمليات معالجة الفضلات .

٩ ـ ٤ مزايا الهيدروجين

يعتبر الهيدروجين حامل جيد للطاقة . وللمسافات الأكبر من ٣٠٠ كيلو متر يكون من الأرخص نقل الطاقة بواسطة الهيدروجين عبر مواسير خاصة عن نقلها ككهرباء عبر أسلاك الجهد العالى . وأيضا فإن الهيدروجين يمكن خزنه فى حين لا يتوفر ذلك بالنسبة للكهرباء . وفى أنظمة استخدام الهيدروجين يمكن إرسال الوقود من أماكن الإنتاج عن طريق مواسير تحت الأرض إلى المصانع والمنازل . كما يمكن استخدام الهيدروجين مباشرة فى العمليات الصناعية التى تحتاج إلى حرارة ، ولتدفئة وتبريد المبانى . وعلى سبيل المثال فإن احتراق الهيدروجين ينتج عنه بخار ماء والذى يستخدم فى كثير من الصناعات مثل الورق والكيماويات . ويستخدم الهيدروجين فى صهر الحديد بدلاً من الفحم مما يعود على البيئة بفوائد جمة نتيجة لمنع التلوث الذى ينتج عن إحتراق الفحم . واحتياجات المصانع والمنازل والمبانى للكهرباء يمكن إنتاجها بواسطة خلايا الوقود الهيدروجينى وفيها يتم خلط الهيدروجين مع الأكسجين وتنتج بذلك طاقة . وتبلغ كفاءة التحويل ٧٠٪ ، ومن المنتظر أن تتحسن هذه الكفاءة بتقدم الأبحاث .

وكنتيجة للخواص المثالية للهيدروجين كوقود ، ولخفة وزنه ، من الممكن إستخدامه بكفاءة عالية فى قطاعات النقل . كما يمكن تحويله فى آلات الإحتراق الداخلى إلى طاقة ميكانيكية بكفاءة أكبر بحوالى ٢٠٪ من الوقود التقليدى . واذا أستخدم فى الطائرات يؤدى ذلك إلى توفير كمية الوقود المستهلك نظرًا لخفة وزنه عن الوقود التقليدى . ويبين الشكل (٩ ـ ٣) رسمًا توضيحيًا لأنظمة استخدام طاقة الهيدروجين بدءًا من طرق إنتاج الهيدروجين من الماء وتوزيعه وتخزينه إلى إستعماله وعودته إلى الأرض فى صورة ماء مرة أخرى .

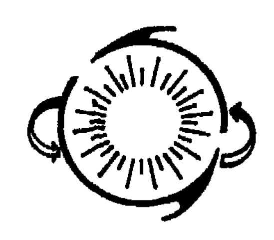


شكل (٩ – ٣) أنظمة إستخدام طاقة الهيدروجين

٩ ـ ٥ المراجع :

١ ـ T.N. Viziroglu, 'Hydrogen Versus Synthetic Fossil Fuels', Conference on Non-Conventional Energy Sources, 20 June-8 July 1983, ICTP, Trieste, Italy.

٢ ـ M.R.I. Ramadan and A.G.El-Shekeil, 'Renewable Energy Resources for Yemen A.R., Part II: Possible Resources.', Accepted for Publication, August 1984, Delta J. of Science.





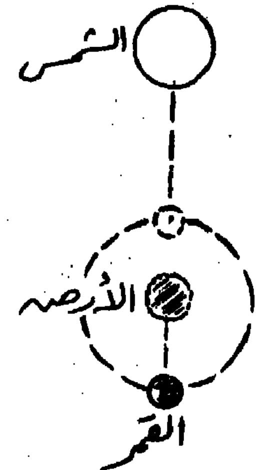
الفصل العاشر

طاقة المد Tidal Energy

١٠ ـ ١ ظاهرة المد والجزر

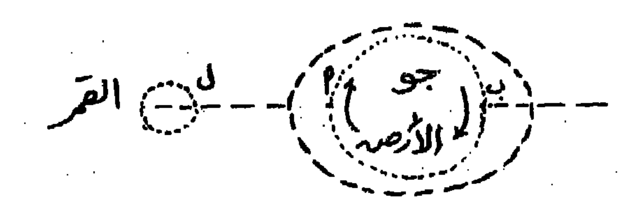
يتعلق الإرتفاع والإنخفاض الدورى للمحيطات بموقع القمر فى السماء . وتأثير القمر يعادل حوالى ٢,٦ مقدار تأثير الشمس فى عمليتى المد والجزر . ففى خلال اليوم القمرى الواحد (٢٤ ساعة و ٥٠ دقيقة) تحدث عمليتين للمد والجزر . ويعتمد التغير فى الفرق بين مستويات الماء على تغير المكان أى على خط العرض وعلى طبيعة الشاطىء .

وقد تكون سعة المد عظيمة فتبلغ حوالى ١٨ مترا إلى ٢١ مترًا فى بعض الأماكن مثل مضيق ماجلان وشواطىء أمريكا بالترتيب . وتحدث أكبر موجة للمد عندما تكون الأرض والقمر والشمس فى خط واحد [أنظر شكل (١٠ ـ ١)] .



شكل (١٠ ـ ١) تأثير مواقع الشمس والقمر على عمليتى المد والجزر

ولقد فسر نيوتن هذه الظاهرة بواسطة نظرية الجاذبية . فعندما تتأثر الأرض بواسطة قوة جذب الأرض فى الإتجاه ب ل كما فى الشكل (١٠ ـ ٢) تكتسب عجلة نتيجة قوة الجاذبية هذه فى الإتجاه ب ل . ويلعب مكان الماء سواء كان عند أ أو ب دورًا هامًا ، إذ يؤثر ذلك على مقدار العجلة التى إكتسبها الماء فتكون أكبر أو أقل من عجلة الأرض . ويسبب الفرق فى العجلة إزاحة كتلة الماء كما هو مبين فى الشكل (١٠ ـ ٢) . وتتحرك كتل المياه فوق سطح الأرض فى مسار دورانها صانعة ظاهرة تسمى باحتكاك المد والتى تؤدى إلى تبطىء سرعة دوران الأرض . كما تسرى الاعتبارات السابقة على الجو المحيط بالأرض مما أدى إلى إكتشاف ما يسمى بمد الجو [١] .



شكل (١٠ ـ ٢) توزيع الماء فوق سطح الأرض تحت تأثير القمر

١٠ ـ ٢ نبذة تاريخية

وتعتبر قوة المد أولى مصادر الطاقة من البحر والتى استخدمها الإنسان من قديم الزمان .

ولقد عالج المسلمون فى مدينة البصرة منذ القرن الرابع الهجرى مشكلة من أحدث مشكلات استخدام حركة المياه ، وذلك باستغلالهم حركة المد والجزر . وكان يزورهم الماء فى كل يوم وليلة مرتين . ففى أثناء المد يدخل الماء الأنهار ، وفى أثناء الجزر ينحسر راجعًا ، فعمدوا إلى أرحية أقاموها على أفواه الأنهار ليديرها الماء فى أثناء حركته داخلاً وخارجًا [٢] .

وتتلخص الطريقة الحديثة لاستغلال طاقة المد والجزر فى بناء سد منخفض يحجز ماء المد العالى ، ثم يُسمح لهذا الماء أن يتدفق فيدير التوربينات وتتولد الكهرباء بتأثير قوة سقوط المياه .

وتبنى الصين مشاريع صغيرة لإستغلال قوة المد تبلغ إنتاجية المشروع الواحد ٣٠٠ كيلو

وات مما يكفى استهلاك قرية صغيرة . ولقد أخذت فى التوسع فى البناء فى السنين القليلة الماضية لتبلغ القدرة الكلية المنتجة ٧ ميجاوات .

ويعتبر المشروع الفرنسى على نهر الرانس من أضخم المشاريع فى العالم وقد بدأ عام ١٩٦٣ . ولقد كان مشروعًا ضخمًا تطلب التخلص من حوالى مليون ونصف مليون متر مكعب من الماء وتجفيف ١٨٥ فدانًا من مصب النهر . وبدأ تشغيل المشروع فى نوفمبر عام ١٩٦٦ وبمعدل إنتاجى مقداره ٢٤٠ ميجاوات ليكفى احتياجات جزيرة بريتانيا من الكهرباء ويمد أيضًا مناطق باريس ونانت وبرست ببعض إحتياجاتها الكهربية .

١٠ ـ ٣ تصميمات لسد الاحتياجات الكهربية وقت الذروة

تتوزع المواقع المثالية لإنشاء مشاريع توليد الكهرباء من قوى المد والجزر على شواطىء البحار أو المحيطات . وأحد المتطلبات الأساسية لإنشاء مشروع توليد الكهرباء هو تواجد منطقة مد واسعة . ولما كان الحصول على أكبر قدرة كهربية وقت الاحتياج إليها فى ساعات الذروة أمر لا يمكن تحقيقه بسهولة فى المشروعات العادية لإستغلال قوة المد . نظراً للتغير المستمر فى الدورة اليومية لحركة المد على مدى العام . لذا أصبح من الضرورى إيجاد تصميم آخر للتغلب على هذه العقبة . وقد تم ذلك بواسطة ما يُسمى (بتصميم الحوضين) . أو أسلوب الضخ . وفيه يتم ملأ الحوض العلوى بواسطة مياه المد القادمة . وعندما يأتى الجزر يسحب مياه الحوض السفلى . وتتولد الكهرباء عندما يتدفق الماء من الحوض العلوى إلى الحوض السفلى . وبهذه الطريقة أمكن الحصول على القدرة الكهربية بطريقة أكثر انتظامًا خلال عمليتى المد والجزر .

١٠ ـ ٤ مزايا قوة المد

تعتبر التأثيرات البيئية لقوة المد أقل ما يمكن . والمردود الاقتصادى مشجع جدًا . ومعظم المشاكل الهندسية خصوصًا فيما يتعلق بالبخر قد وجدت طريقها إلى الحل .

وعلى ذلك فإن تحسين تكنولوجيا البناء لمشروعات استغلال قوة المد وارتفاع التكاليف الإنشائية لمشاريع القوى الأخرى يجعل استغلال قوة المد مناسبًا وإقتصاديًا . والأسعار المستقبلية للبترول والفحم فى تزايد مستمر وبذلك تضيق الفجوة بين سعر الكيلو وات المولد تقليديًا والمولد من طاقة المد .

١٠ ـ ٥ الأخطار البيئية

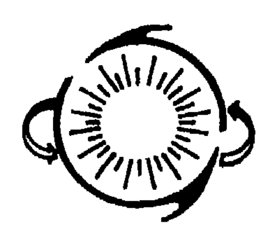
ومما حدث كنتيجة للمشروع الفرنسي على نهر الرانس هو تغير توزيع الثروة السمكية . واختفاء بعض الشواطيء الرملية . ونشأت تيارات مائية سريعة جدًا بالقرب من بوابات التحكم فى المياه وتوربينات توليد القوة الكهربية .

وتغيرت أيضًا مناسيب المد فقد إنخفض أقصى متوسط إرتفاع من ٤٤ إلى ٤٢ قدم وبالتالى حدث إرتفاع فى متوسط إنخفاض مستوى الجزر .

١٠ ـ ٦ المراجع :

١ ـ V.A. Venikov and E.V. Putyation, 'Introduction to Energy Technology', Mir Publishers, Moscow, pp.49, 1984.

٢ ـ آدم متز . الحضارة الإسلامية فى القرن الرابع الهجرى . ترجمة محمد أبو ريدة . مكتبة الخانجى بالقاهرة . المجلد الثانى ص ٣٦٢ وما بعدها .





الفصل الحادي عشر

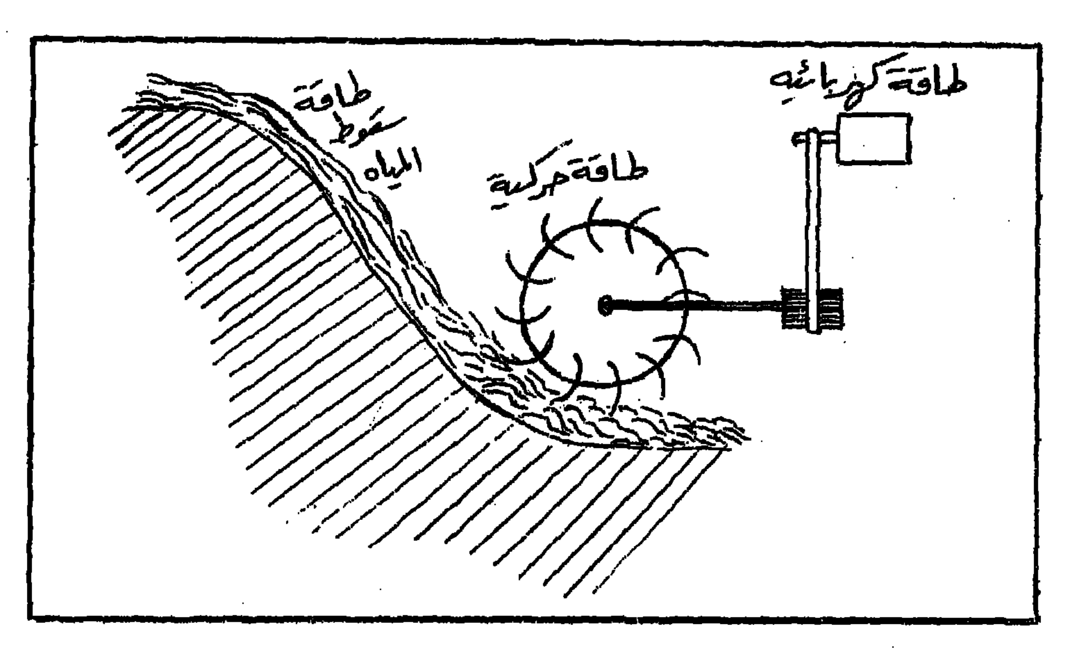
الطاقة الكهرومائية Hydropower

١١ ـ ١ طاقة سقوط المياه

تعتبر المياه الساقطة مصدر رُبع الإنتاج العالمى من الكهرباء ، مهما إختلفت طرق استغلالها سواء كانت عبارة عن ساقية خشبية تدور ببطء بواسطة مياه ترعة صغيرة فى نيبال أو بواسطة دينامو عملاق يزن مائة طن صلب فى أسوان على نهر النيل . وتنبع القوة المائية كنتيجة للدورة الأزلية من التبخر وسقوط أمطار وجريان للمياه بواسطة حرارة الشمس وجذب الأرض . وباستخدام قوة سقوط المياه فى إحدى خطوات هذه الدورة ـ أثناء عودة المياه إلى البحر ـ فتحول السواقى والتوربينات هذا المصدر اللانهائى للطاقة المتجددة إلى طاقة كهربية .

والذى يحدث أن الماء يتخلى عن طاقة وضعه عند إنخفاض مستواه نتيجة عبوره حاجزًا طبيعيًا كالشلالات أو إصطناعيًا كالسدود ويحرك الماء المندفع عنفة مائية تقوم بتحويل قسط من طاقة الوضع إلى طاقة حركية يتم تحويلها بدورها إلى طاقة كهربائية بواسطة مولد كهربائى كما هو مبين فى الشكل (١١ ـ ١) .

ويتراوح المردود الكهربائى للمولدات المائية بين ٧٠٪ و ٩٠٪ حسب نوع العنفة المستعملة وتتناسب استطاعة المولد المائى طرديًا مع جداء مردود التحويل وتدفق الماء وإرتفاع الحاجز وتبلغ الطاقة الكهربائية المولدة نتيجة هبوط متر مكعب من الماء من إرتفاع متر واحد حوالى ٢,٥٠ وات ساعة .



شكل (١١ ــ ١) تحويل طاقة سقوط المياه إلى طاقة كهربائية

١١ ــ ٢ بعض مميزات الطاقة الكهرومائية

وبالمقارنة بالمصادر الأخرى للكهرباء ــ مثل البترول والفحم والطاقة النووية ــ فإن القدرة المائية لها فوائد بيئية ، على الرغم من أن السدود الضخمة قد تتسبب فى أضرار بيئية إذا لم يُخطط لها بدقة ، إلا أن الطاقة الكهرومائية لا تسبب أى تلوث صحى كما أنها لا تهدد الأرض بالأخطار العظيمة مثل النفايات النووية ، وثانى أكسيد الكربون المتخلف من إحتراق الفحم والبترول .

وفى العالم الذى يعانى من التضخم ونقص فى الوقود التقليدى فإن الطاقة الكهرومائية تعرض أسعارًا ثابتة ومصدرًا دائمًا للطاقة .

وتعتبر الطاقة الكهرومائية المصدر الوحيد من كل مصادر الطاقة المتجددة التى تستطيع أن تعطى كميات كبيرة ومركزة من الكهرباء لتدير المصانع وتنير المدن والقرى بأقل قدر من المشاكل وبأرخص الأسعار . وإذا استطاع العالم أن يستغل كل الطاقة الكهرومائية المتاحة إقتصاديًا لأمكن الاستغناء عن مشروعات الكهرباء التى تعمل بالوقود التقليدى والطاقة النووية . ولكن معظم الطاقة الكهرومائية لم تستغل حتى الآن . وإذا أستفيد من الطاقة المختزنة فى المياه المتدفقة إلى المحيطات فإن ٧٣ ألف مليون ميجاوات ساعة من الممكن

إنتاجها سنويًا [11] . وبالمقارنة فإن الإنتاج العالمى الحالى يبلغ فقط ٣٢٠٧ مليون ميجاوات ساعة . ولقد قدر المؤتمر العالمى للطاقة أنه يمكن مضاعفة كمية الطاقة الكهرومائية عالميا لتصل إلى أربع أو ست أضعاف المستوى الحالى دون زيادة فى المشاكل البيئية أو الإقتصادية .

وتتوفر المياه فى بعض المناطق والبلاد لدرجة أنها تستطيع أن توفى بمعظم احتياجاتها من الطاقة إذا ما دُعمت بمصادر الطاقة المتجددة المتاحة فى هذه الأماكن مثل الكتلة البيولوجية ، والطاقة الحرارية الأرضية ، والطاقة الشمسية . فالنرويج مثلاً تتلقى حوالى ٩٩٪ من احتياجاتها الكهربية ، ٥٠٪ من كل متطلباتها من الطاقة من مساقط المياه . وبقية الدول الإسكندنافية مثل السويد وفنلندا تعتمد اعتمادًا أساسيًا على الطاقة الكهرومائية .

١١ ـ ٣ الأخطار الناجمة عن السدود الكبيرة

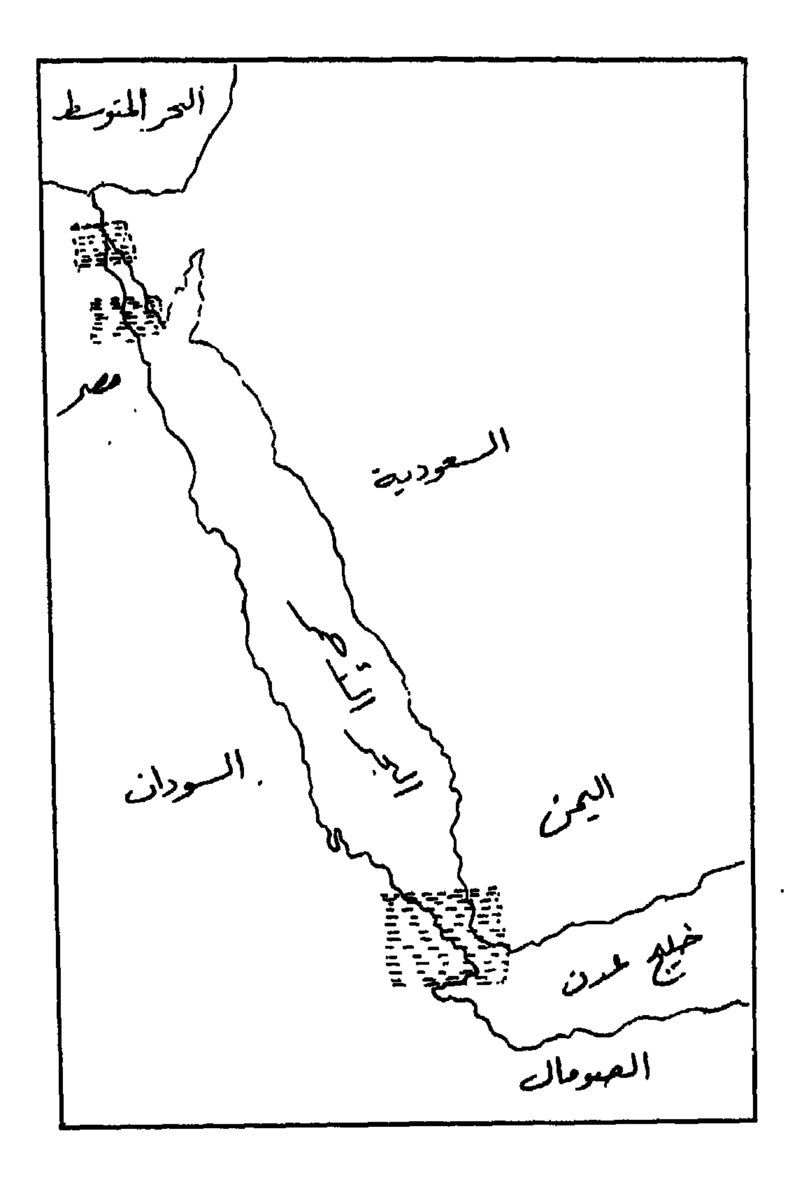
تتسبب السدود المائية الكبيرة فى تغيرات بيئية منها المفيد ومنها ما يؤدى إلى أخطار رهيبة . فهذه السدود تغير من أسلوب الحياة للسكان المحليين . وإذا لم تشمل خطة التشييد كل العوامل البيئية المختلفة واقتصرت فقط على مشاكل البناء الهندسية فإن أخطارًا محققة تنتظر الإنسان والطبيعة خصوصًا على ضفاف النهر أو البحيرة التى يقام عليها السد . فمثلاً نفس المياه التى تُحيى الزراعة بالرى يمكن أن تتسبب فى نشر الأمراض المولدة فى الماء مثل البلهارسيا ، وتعرية الأرض .

١١ ـ ٤ الإستفادة من الطاقة الكهرومائية فى اليمن ودول البحر الأحمر

لقد تمت دراسات مكثفة لكيفية الإستفادة من القوى المائية للبحر الأحمر خصوصًا وأن اليمن بشطريه يطل على أجزاء كبيرة من البحر الأحمر ، ومضيق باب المندب وبحر العرب . ومن نتائج هذه الدراسات وضع مشروع لإنشاء سد عملاق على مضيق باب المندب ، ومن المنتظر أن يستفيد من هذا المشروع كل البلدان العربية الواقعة على البحر الأحمر ، فيمد مصر والسودان واليمن بشطريه والسعودية والصومال بحوالى ٢٠٪ من الإنتاج العالمى للقوى الكهربية [12] .

وتعتمد فكرة هذا المشروع الضخم على بناء سدين ، أحدهما على مضيق باب المندب والثانى على خليج السويس لحجز مياه البحر الأحمر وإستخدام القوى المائية هذه فى توليد

الكهرباء بإدارة توربينات عملاقة . ويوضح الشكل (١١ ـ ٢) ثلاثة أماكن مقترحة لإقامة السدود على البحر الأحمر . وسوف تفي القوى الكهربية المولدة باحتياجات هذه البلدان من الطاقة أما الزيادة عن الحاجة ـ وهي كثيرة ـ فسوف يمكن تصديرها إلى البلاد المجاورة .



شكل (١١ ـ ٢) المواقع الثلاثة المقترحة لإقامة السدود على البحر الأحمر

ولحسن الحظ فإن المشاكل الناجمة عن السدود العملاقة على مياه البحار ليست بالحجم الموجود فى الأنهار . والخطر الرئيسى يكمن فى إحتمال تشقق السد على مدى السنين . ولكنها عملية بطيئة جدًا بالنسبة لأغلبية السدود .

أما الفوائد الناجمة عن هذا المشروع فهى لا تحصى ومنها :

١ ـ يمكن بناء المشروع على عدة مراحل تهدف إلى إنتاج ما يقرب من ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية المولدة فى العالم أجمع .

٢ ـ يُعطى حوالى ٣ $\frac{١}{٢}$ مليون طن من الأملاح العضوية المعدنية النادرة سنويًا .

٣ ـ من المتوقع أن يصل الإنتاج السمكى إلى مليون طن سنويًا مما يشجع إنشاء مصانع لتعليب الأسماك وتوفير آلاف الوظائف للعمالة الوطنية .

٤ ـ سوف يؤدى المشروع إلى إنشاء العديد من الموانىء على شواطىء البحر الأحمر .

٥ ـ الطاقة الكهربائية المولدة يمكن أن تساهم فى تغذية المشروعات لإزالة ملوحة مياه البحر وإستخدامها فى رى آلاف الأفدنة من الشواطىء وهذا بدوره يؤدى إلى إقامة مجتمع زراعى بجانب المجتمع الصناعى .

٦ ـ تكاليف إنتاج الكيلووات من الكهرباء بهذه الطريقة أرخص بكثير من تكاليف الإنتاج بالطاقة النووية .

١١ ـ ٥ المراجع :

١ ـ D. Deudney, ' An Old Technology for a New Era. '. Environment. V. 23, No. 7, pp. 17, 1981.

٢ ـ M.R.I. Ramadan and A.G. El-Shekeil, ' Renewable Energy Resources for Yemen A.R., Part II : Possible Resources. '. Accepted for Publication, August 1984. Delta J. of Science.



الفصل الثاني عشر

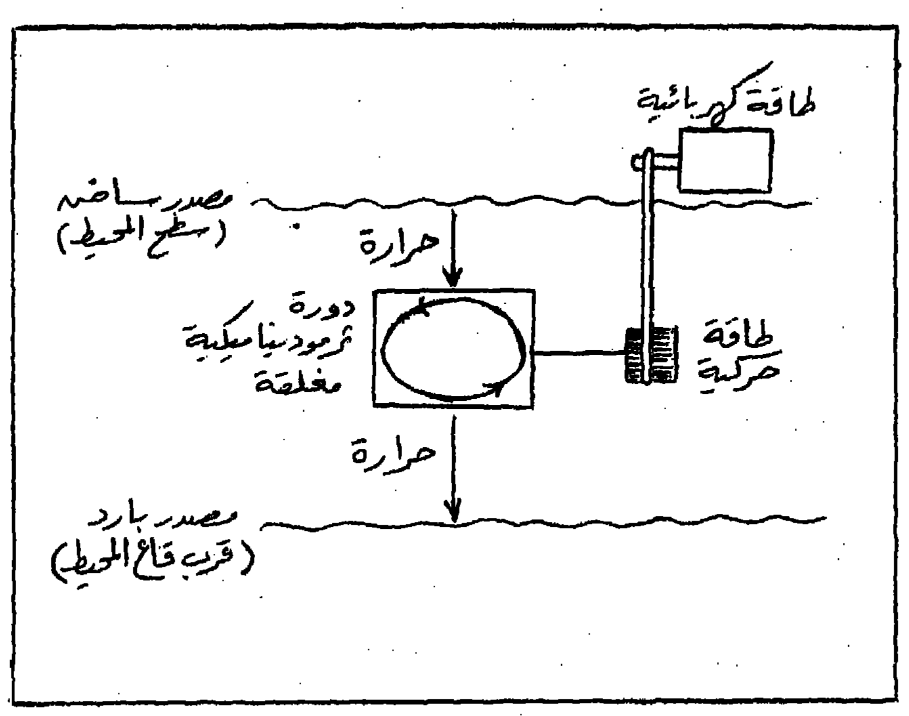
الطاقة من مياه المحيطات والبحار OTEC and Sea Waves

١٢ ـ ١ مشاريع استغلال طاقة مياه البحار والمحيطات

تعتبر مياه البحر مصدرًا هائلاً للطاقة . ولأساليب إستخدامها صور عديدة . منها على سبيل المثال استغلال الفرق فى درجات الحرارة بين السطح والمياه العميقة . كذلك استخدامها حركة الأمواج لتوليد الكهرباء . أو الحصول على الهيدوجين من المياه واستخدامه كوقود . وسنذكر هنا مشروعين مختلفين لإستغلال طاقة مياه المحيطات والبحار .

المشروع الأول عبارة عن محطة طاقة حرارية كهربية تبلغ طاقتها ٥٠ كيلووات . وهدف المحطة الأساسى هو إثبات أن محطات الكهرباء التجارية التى تعمل بطاقة ٣٠٠ ميجاوات يمكن إدارتها بدرجة حرارة تتراوح بين حرارة مياه سطح المحيط الدافئة ومياه القاع الباردة . فتمتص الطبقات السطحية فى المحيطات الإستوائية الطاقة الشمسية لتصل حرارتها إلى حوالى ٢٥ درجة مئوية بينما لا تتجاوز حرارة الطبقات المائية الأكثر عمقًا أكثر من خمس درجات . وذلك بسبب التيارات المائية الباردة الواردة إليها من القطبين . ويمكن من الناحية المبدئية إستخدام فرق درجات الحرارة لتوليد طاقة حركية ناتجة عن نقل الحرارة بين المصدر الساخن والمصدر البارد بواسطة سائل محرك فى دائرة ثيرمو ديناميكية مغلقة كما هو مبين فى الشكل (١٢ ـ ١) :

وتصميم المشروع يستخدم مياه السطح الدافئة لتبخير سائل الأمونيا الموجود فى مبادل حرارى فيقوم غاز الأمونيا بتشغيل المولدات لإنتاج الكهرباء . وعند ذلك يُرسل عن طريق مبادل حرارى آخر يحتوى على مياه بحر الأعماق الباردة فيتحول إلى سائل مرة أخرى . ويتم



شكل (١٢ ـ ١) توليد طاقة كهربائية من فوق درجتي حرارة سطح وقاع المحيط

ضخ مياه البحر العميقة من عمق يصل إلى سبعين مترًا . وتركب محطة الطاقة الصغرى على قارب خاص يرسو على بعد كيلو مترين من الساحل . والطاقة المستهلكة فى ضخ مياه البحر العميقة يتم الحصول عليها من الطاقة التى تولدها المحطة .

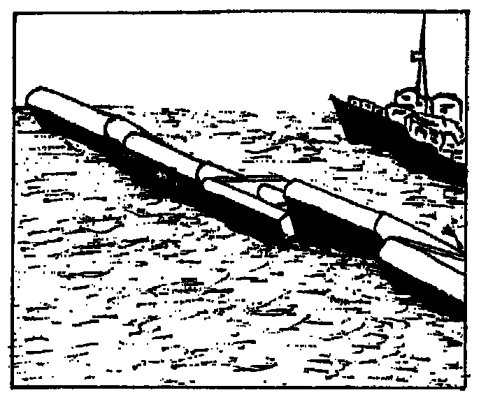
أما المشروع الثانى فيستخدم الطاقة المتولدة من حركة أمواج البحر . وأساسه تعويم سلسلة مؤلفة من ٢٠ جسمًا خشبيًا طولها ٥٠ مترًا . وتوضع بالقرب من الشاطىء حتى تؤدى حركتها المتواصلة إلى توليد الطاقة الكهربية وكل جسم خشبى سطحه مصنوع على شكل محدب . لكن قاعدته الملامسة لسطح البحر مستوية . وكل جسم يتأرجح حول محوره . أو العامود المركب عليه . وبذلك يُحدث كل جسم متأرجح حول محوره ما يقرب من الدورة وبذلك تتولد الطاقة التى يسهل إستخدامها . ولأن هذه الأجسام الخشبية موضوعة بعيدًا عن الشاطىء . لابد من بناء منصة عائمة مجاورة لها حتى يمكن عن طريقها نقل الطاقة إلى الشاطىء . وعلى نفس الطريق ابتكر العالم الإنجليزى (كوكريل) ، أجسامًا خشبية عائمة لكنها ذات مفصلات مرتبطة ببعضها البعض . بحيث يسبب الماء تأرجحًا بطيئًا لها . مما يولد بدوره قوة دوران عالية جدًا . وتبين الأشكال (١٢ ـ ٢) ، (١٢ ـ ٣) ، (١٢ ـ ٤) نماذج مختلفة لما سبق شرحه من توليد الكهرباء من حركة المياه .

١٢ ـ ٢ المسلمون والطاقة المائية [١]

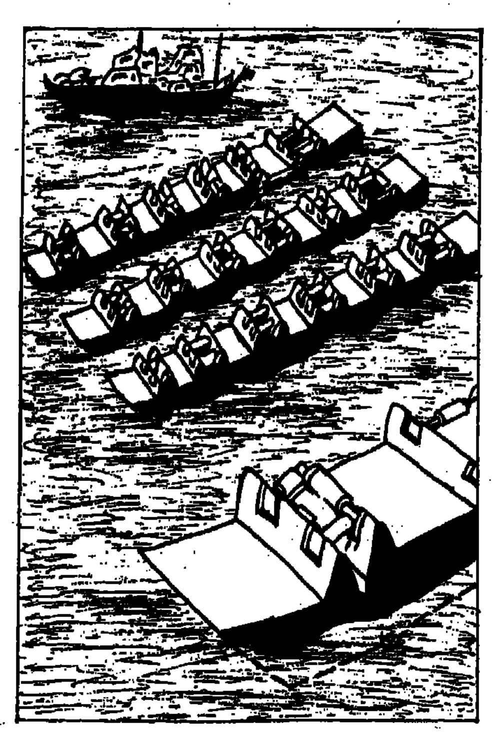
أصبح المسلمون فى القرن الرابع الهجرى لا يسمعون شيئا عن الطاحونة التى تدار باليد وتحدث جعجعة . لا عند أهل المدن ولا عند أهل القرى بل كان على الأنهار أرحاء فى سفن وكان على النهيرات الصغيرة أرحاء مائية تدور وتسمى سرن [٢].

وكانت أكبر الأرحاء العائمة تقوم على نهر دجلة وذلك فى تكريت والحديثة والبردان وبغداد والموصل . وكانت مطاحن الموصل مصنوعة من الخشب والحديد الذى لا يمازجه شىء من الحجر والجص . وتسمى الواحدة منها عربة . وهى تقوم فى وسط الماء بسلاسل حديد . كل عربة فيها حجران . يطحن كل حجر منها خمسين وقرًا فى كل يوم .

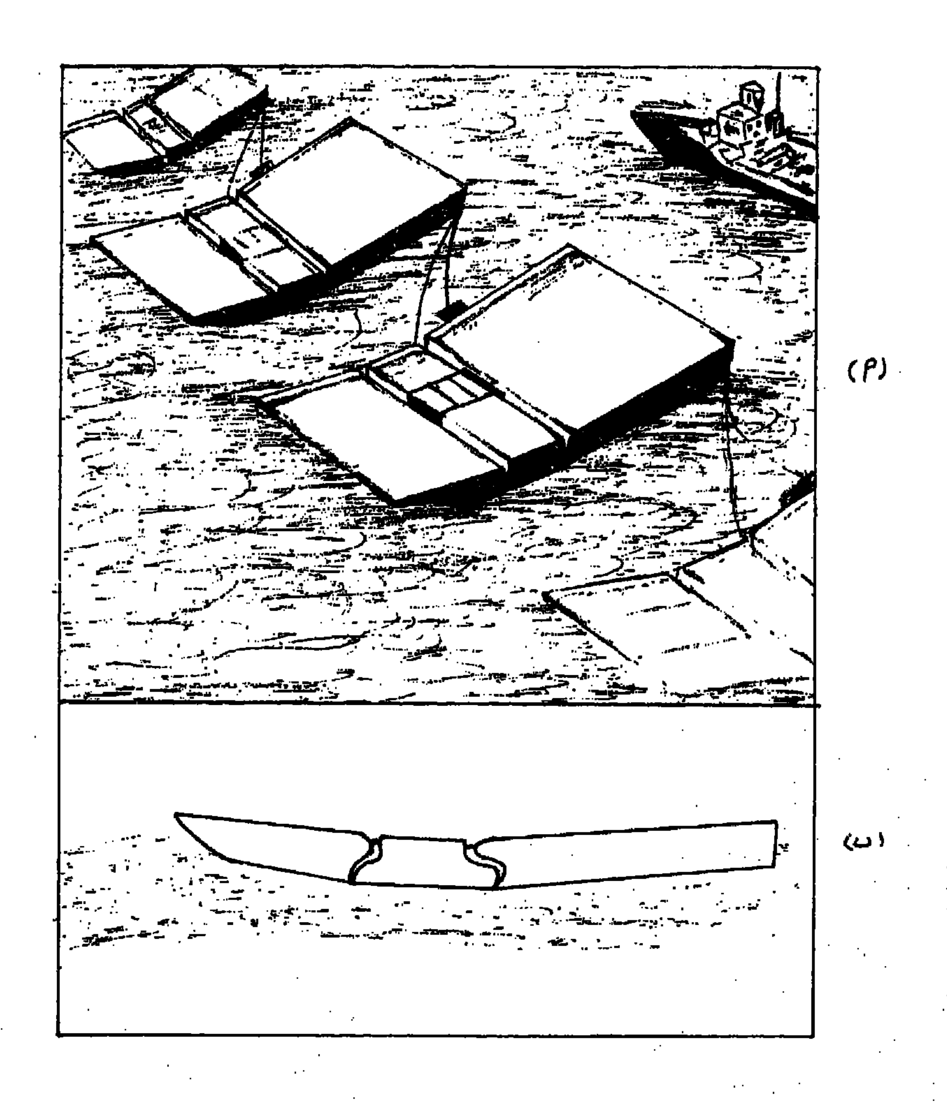
ولم يكن الناس يستعملون الدواب فى إدارة الطواحين إلا فى الجهات التى ليس بها أنهار . وقد أستعملت رحى مشابهة أيضًا فى تقطيع قصب السكر وفى نشر الخشب .



شكل (١٢ ـ ٢) نموذج لتوليد الكهرباء من حركة المياه



شكل (١٢ ـ ٣) تصميم آخر لتوليد الكهرباء من موجات البحر



شكل (١٢ ـ ٤)
(أ) يوضح كيفية إستغلال موجات البحر فى توليد الكهرباء
(ب) عبارة عن مقطع عرضى يبين تركيب المفصلة .

١٢ ـ ٣ المراجع :

١ ـ آدم متز ، الحضارة الإسلامية فى القرن الرابع الهجرى . ترجمة محمد أبو ريدة . مكتبة الخانجى القاهرة المجلد الثانى ص ٣٦٢ وما بعدها .

٢ ـ مفاتيح العلوم للخوارزمى . مكتبة الكليات الأزهرية القاهرة ١٩٨١ .



الفصل الثالث عشر

الطاقة النووية Nuclear Energy

بدأت كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتى وبريطانيا وفرنسا فى تشغيل مفاعلات نووية لتوليد الكهرباء فى منتصف الخمسينات من هذا القرن . واتسعت قائمة أعضاء النادى النووى شيئًا فشيئًا حتى بلغ عدد الدول التى تمتلك مرافق نووية ٢١ دولة فى عام ١٩٧٠ أما فى عام ١٩٧٧ فقد أصبح عدد المفاعلات التجارية فى العالم ٢٠٤ تنتج طاقة إجمالية تقدر بنحو ٩٥ ألف ميجاوات من الكهرباء .

١٣ ـ ١ الإنشطار النووى والإندماج النووى Fission and Fusion

هناك طريقتان للحصول على الطاقة من الذرة ، طريقة الإنشطار النووى وطريقة الإندماج النووى . وكلاً من الطريقتين تعتمد على الفكرة السائدة فى أن أنوية الذرات متوسطة الحجم أكثر استقرارًا من الأنوية الكبيرة جدًا أو الأنوية الصغيرة جدًا . ولذا فإن نواة ضخمة مثل نواة ذرة اليورانيوم يمكن أن تنشطر إلى عدة أنوية متوسطة الحجم وتنطلق كمية عالية من الطاقة ويُسمى هذا بالانشطار النووى . أما عندما تندمج ذرتان صغيرتان أو أكثر ليكونوا ذرة أكبر وتنطلق طاقة عالية فيسمى هذا التفاعل بالإندماج النووى ، كإندماج أنوية الهيدروجين لتكوين أنوية الهليوم مع إنطلاق كمية هائلة من الطاقة .

فى كلتا الحالتين يكون وزن المواد الناتجة من التفاعل أقل من المواد الداخلة فى التفاعل ويتحول الفرق فى الوزن إلى طاقة بحسب معادلة ألبرت أينشتاين المشهورة :

$$\text{ط} = \text{ك}\ \text{س}^{2}$$

حيث ط = طاقة ، ك = كتلة ، س = سرعة الضوء

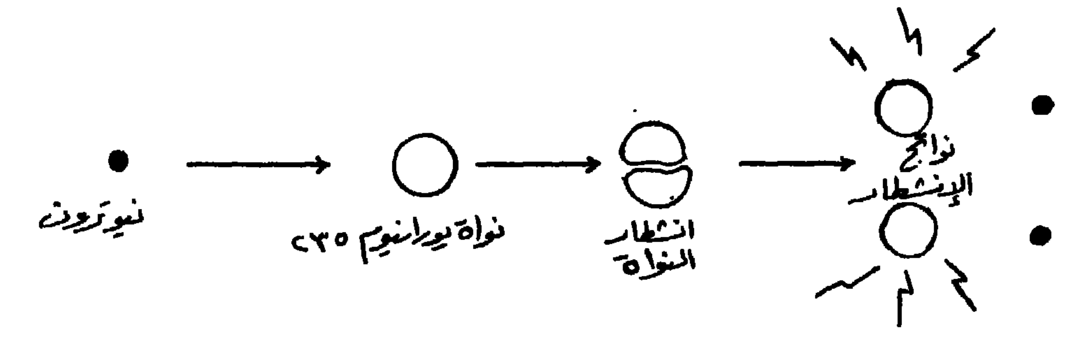
١٣ـ٢ المفاعلات النووية

عند قذف ذرة يورانيوم ٢٣٥ بنيوترون بطاقة محددة يستطيع هذا النيوترون (نظرًا لتعادله كهربيًا) أن يخترق الذرة إلى النواة فيصطدم بها ويشطرها إلى جزئين رئيسيين وعدد من الأجزاء الصغيرة المشعة وينتج عن هذا الانشطار عددًا من النيوترونات الإضافية (عادة (٢ـ٣) كما فى الشكل (١٣ ـ ١).

وإذا لم تمتص النيوترونات الناتجة تصطدم بدورها بأنوية ذرات جديدة وتشطرها منتجة طاقة أكبر وعدد إضافى من النيوترونات وينشأ تفاعل متسلسل يتضاعف فيه عدد الأنوية المنشطرة على شكل متسلسلة هندسية كما فى الشكل (١٣ ـ ٢). وهذا هو ما يحصل فى القنبلة النووية الإنشطارية.

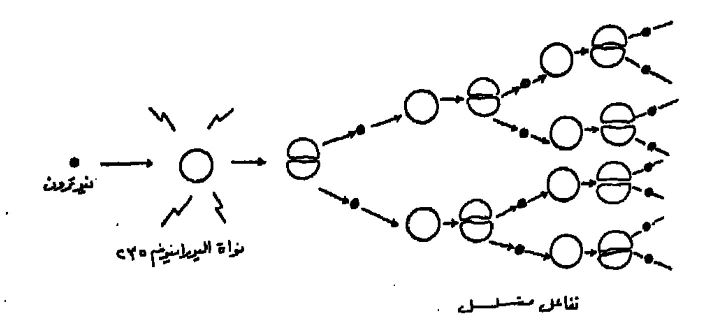
أما فى المفاعلات النووية فيتم هذا التفاعل الانشطارى نفسه مع السيطرة التامة على سرعة التفاعل بحيث يكون بطيئًا حتى لا يحصل انفجار نووى، ولكنه سريع بما فيه الكفاية لإنتاج كمية من الطاقة الحرارية تحول الماء إلى بخار تحت ضغط عالٍ جدًا قد يبلغ ٣٠٠ ضغط جوى يحرك عنفات (توربينات) مولد كهربائى كما فى الشكل (١٣ ـ ٣). وتتم السيطرة على سرعة التفاعل بالسيطرة على عدد النيوترونات فكلما زادت عدد النيوترونات زادت سرعة التفاعل.

ويعد هذا النوع من الطاقة النووية الإنشطارية ضمن الطاقات المتجددة بعد تطوير مفاعلات الإستولاد (٠) Breeder reactors . وقد طُور هذا النوع من المفاعلات

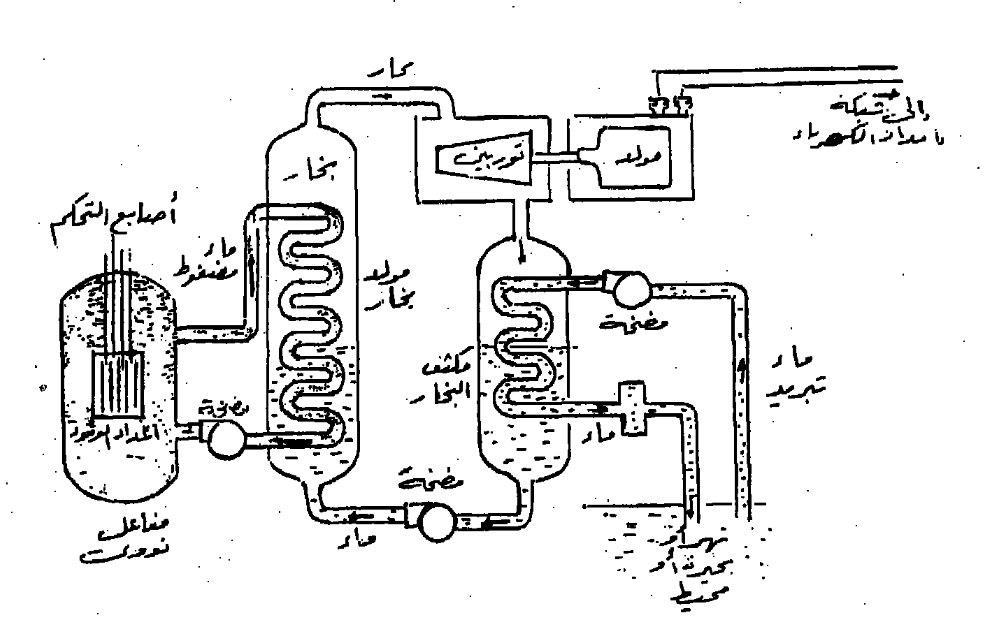


شكل (١٣ ـ ١) انشطار نواة يورانيوم ٢٣٥

( ) يستولد : يحدث عنصرًا قابلاً للانشطار بأن يقذف عنصرًا غير قابل للإنشطار بنيوترونات من عنصر نشط إشعاعيًا.



شكل (١٣ ـ ٢) إنشطار اليورانيوم ٢٣٥ فى القنبلة النووية



شكل (١٣ ـ ٣) مخطط توضيحى لمشروع توليد القوى النووية باستخدام مفاعل الماء المضغوط

ليواجه النقص الواضح فى اليورانيوم ٢٣٥ . والفكرة الأساسية فيه هى إنتاج نظائر قابلة للإنشطار من اليورانيوم ٢٣٨ الذى يمتص نيوترونًا مكونًا يورانيوم ٢٣٩ .

يتحلل اليورانيوم ٢٣٩ بسرعة مكونًا بلوتونيوم ٢٣٩ وهو عنصر قابل للإنشطار مثل اليورانيوم ٢٣٥ .

$$^{238}U_{92} + {}^{1}n_{0} \rightarrow {}^{239}U_{92}$$

$$^{239}U_{92} \rightarrow {}^{239}Np_{93} + {}^{0}e_{-1}$$

$$^{239}Np_{93} \rightarrow {}^{239}Pu_{94} + {}^{0}e_{-1}$$

إن هذا النوع من المفاعلات قادر على إنتاج وقودًا أكثر مما يستهلك .

١٣ ــ ٣ أخطار تصاحب استغلال الطاقة النووية الانشطارية

١ ـ تلوث البيئة بالمواد المشعة :

من المعروف أن كمية هائلة من الحرارة تنبعث فى التفاعلات النووية ويستعمل الماء للتبريد ، وقد دلت القياسات على الأنهار التى بنيت على شواطئها مفاعلات نووية على وجود تلوث إشعاعى فى المياه ينتقل إلى الأسماك والكائنات الحية ثم بطبيعة الحال إلى الإنسان . وتحمل هذه الأنهار تلك الإشعاعات إلى الشواطىء ومياه الشرب . والخضار والفواكه والتربة . وتتلوث التربة إشعاعيًا إثر خزن النفايات النووية المشعة فيها . ويتلوث الهواء من بعض الغازات التى تنطلق فيه مثل التريتيوم والكربتون .

٢ ـ تلوث البيئة حراريًا :

تؤدى إلى إرتفاع فى درجة حرارة الجو وبالتالى يمكن أن يُحدث تغييرًا فى مناخ العالم . ويُؤثر ذلك على المحاصيل ، وإرتفاع منسوب مياه البحار وعمر المدن الساحلية .

كما أن ارتفاع حرارة الماء يؤدى إلى تناقص كمية الأكسجين المذاب فى الماء مما يؤثر على حياة النباتات والحيوانات المائية . ويساعد أيضًا على نمو الجراثيم مما يستهلك جزءًا كبيرًا من الأكسجين المتبقى .

٣ـ نواتج مشعة وفضلات نووية :

هذه النواتج والفضلات لها نصف عمر طويل قد يصل إلى ملايين السنين (أنظر جدول ١٣ ــ ١) ، تسبب تلوث التربة والماء وبالتالى تصيب الإنسان ــ والتخلص

من هذه النفايات النووية يعتبر مشكلة المشاكل أمام إستخدام وبناء المفاعلات النووية .

جـدول (١٣ ـ ١)

نصف العمر لبعض العناصر المشعة

العنصر المشع	نصف العمر
يود ١٢٩	١٧ مليون سنة
كربون ١٤	٥٧٧٠ سنة
بلوتونيوم ٢٣٩	٢٤٧ سنة
سيزيوم ١٣٧	٣٠ سنة
سترونشيوم ٩٠	٢٨ سنة
تريتيوم ٣	١٢ سنة

٤ ـ يتراوح عمر المفاعل بين ٢٠ ، ٣٠ عامًا يصبح بعدها غير صالح للإستعمال إلى الأبد وتصبح أجزاء المفاعل جميعًا ملوثة بالأشعة وكذلك المنطقة المحيطة به ويستمر فى الإشعاع والدمار وعادة يكون بالقرب من بحيرة أو نهر ينفث فيه سمومه .

٥ ـ المفاعلات النووية عرضة للتخريب كما حدث للمفاعل النووى العراقى ، وعرضة للعوامل الطبيعية كالزلازل والهزات الأرضية والفيضانات . وعند تعرض المفاعل أو مخزن النفايات المشعة لحادث تسقط الحواجز بين المواد المشعة والبيئة ويحدث الموت والهلاك .

٦ ـ المفاعلات النووية من أكثر المنشآت تعقيدًا خاصة أجهزة المراقبة وتنظيم العمل وتبلغ من كثرتها وتعقيدها حدًا يصبح معه وقوع الخطأ محتملاً وذو عواقب وخيمة . ولعل تاريخ مفاعل هار يسبورغ فى الولايات المتحدة ـ وهو من النوع الأكثر انتشارًا فى العالم ـ خير مثال على الخطر الذى تحمله المفاعلات النووية بين جدرانها للبشرية . فقد بدأ تشغيله فى ٣١ / ١٢ / ١٩٧٨ وتعطل بعد أسبوع واحد واستمر إصلاحه أسبوعين ثم عمل المفاعل أسبوعًا آخر وتعطل ثانية فى ١ / ٢ / ١٩٧٩ وبعد إصلاح

صمامات الأمان عاد المفاعل للعمل ليوم واحد حيث تعطلت مضختان للماء وبعد إصلاح هذا العطل بدأ المفاعل بالعمل حتى تعطل فى ٢٨ / ٣ / ١٩٧٩ وإلى الأبد إثر سلسلة من الأخطاء البشرية والآلية وكاد المفاعل أن ينفجر.

٧ ـ تستطيع معظم الدول التى تمتلك مفاعلات نووية تجاريه إنتاج قنبلة ذرية ، فالبلوتونيوم ٢٣٩ يصنع داخل كل هذه المفاعلات وتكفى ٤ كيلوجرامات منه لصنع قنبلة ذرية ويكتفى صانع القنابل الخبير الماهر إلى أقل حتى من ٢ كيلوجرام. واليورانيوم ٢٣٥ هو وقود أغلب المفاعلات التجارية ويكفى ١١ كيلوجرام منه لعمل قنبلة ذرية. واليورانيوم ٢٣٣ ينتج فى المفاعلات التى تحتوى على ثوريوم كما أن ٤.٥ كيلوجرام منه تكفى لصناعة قنبلة ذرية. أما المعلومات والمعرفة الضرورية فقد أصبحت متوفرة ويسهل العثور عليها. ومع نهاية القرن العشرين سيكون فى هذا العالم مواد قابلة للانشطار تكفى لعمل ربع مليون قنبلة ذرية. وعلى الدنيا السلام إذا وقع قليل من هذه المواد فى أيدٍ غير مسئولة. وقد سجل التاريخ عدد من الهجمات الارهابية على مفاعلات نووية فى كثير من بلدان العالم. وفى غياب الاستقرار والسلام العالمى وإلى الأبد سيكون استغلال الطاقة النووية الإنشطارية وبال على العالم بأسره.

٨ ـ إن تكاليف المفاعلات النووية العالية الثمن سيؤدى إلى تدفق رؤوس الأموال من الدول الفقيرة إلى الدول الغنية وسيؤدى إلى استعمار تكنولوجى خاصة إذا تآمرت القوى العظمى النووية على اخفاء تفاصيل فنية مثل تفاصيل دائرة الوقود.

وانه من الأفضل للدول النامية أن تنفق أموالها على مصادر الطاقة المتجددة المتوفرة لديها وتكنولوجيا تستطيع أن تنتج أساسياتها وتقدر على صيانتها وتشغيلها بدون الإعتماد على الغير.

١٣ ـ ٤ الطاقة النووية الإندماجية Fusion

يبين الجدول (١٣ ـ ٢) بعض أمثلة التفاعلات النووية الإندماجية كما يبين الشكل (١٣ ـ ٤) أحد هذه التفاعلات.

ولأن كمية الطاقة المنبعثة فى التفاعل الثالث (ديوتريوم ـ تريتيوم) تبلغ حوالى ثلاثة أضعاف الطاقة المنبعثة فى التفاعل (ديوتريوم ـ ديوتريوم) لذا فإن التفاعل (ديوتريوم ـ تريتيوم) هو التفاعل الإندماجى المرشح للإستخدام فى المفاعلات النووية الإندماجية. وفى

كل التفاعلات المذكورة فى جدول (١٣ ـ ٢) ، يتكون منتجين لكل تفاعل وتتقاسم النواتين الطاقة المنطلقة من التفاعل عكسيًا حسب الكتلة ، وعلى ذلك فإن النواتج الخفيفة تحمل أكبر طاقة حركة . وبالتالى فإن فى التفاعل المهم (ديوتريوم ـ تريتيوم) تتركز معظم الطاقة المنطلقة على النيوترون المتعادل كهربيًا . وذلك يعنى بعض المصاعب الفنية حيث

جـدول (١٣ ـ ٢)

أمثلة للتفاعلات النووية الإندماجية

الأنوية الإبتدائية *	الأنوية النهائية	كتلة الأنوية الإبتدائية ** (a.m.u)	الكتلة النهائية للنواتج (a.m.u)	الكتلة المفقودة (a.m.u)	الطاقة المنطلقة لكل تفاعل إندماجى *** (Mev)
١ ـ $^{2}H_{1} + ^{2}H_{1}$	$^{3}He_{2} + ^{1}n_{0}$	٤.٠٢٨٢٠	٤.٠٢٤٦٩٥	٠.٠٠٣٥٠٥	٣.٣
٢ ـ $^{2}H_{1} + ^{2}H_{1}$	$^{3}H_{1} + ^{1}H_{1}$	٤.٠٢٨٢٠	٤.٠٢٣٨٧٥	٠.٠٠٤٣٢٥	٤.٠
٣ ـ $^{2}H_{1} + ^{3}H_{1}$	$^{4}He_{2} + ^{1}n_{0}$	٥.٠٣٠١٥٠	٥.٠١١٢٦٥	٠.٠١٨٨٨٥	١٧.٦
٤ ـ $^{2}H_{1} + ^{3}He_{2}$	$^{4}He_{2} + ^{1}H_{1}$	٥.٠٣٠١٣	٥.٠١٠٤٢٥	٠.٠١٩٧٠٥	١٨.٤

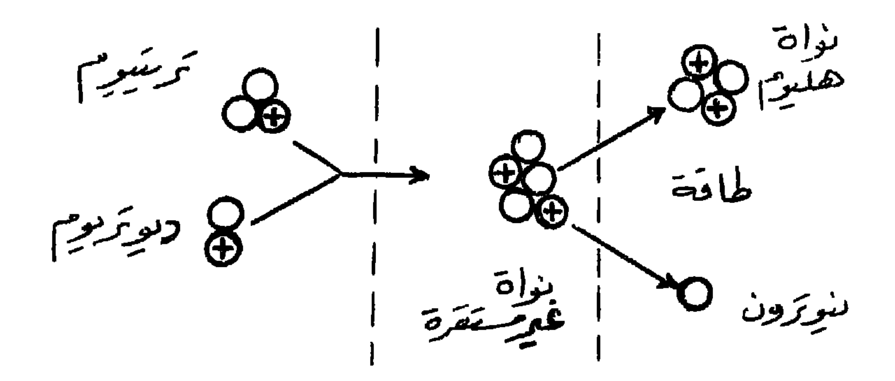
* لاحظ أن $^{2}H_{1}$ ، $^{3}H_{1}$ هى نظائر ثقيلة للهيدروجين وتسمى هذه الذرات بأسماء خاصة وهى الديوتريوم ، التريتيوم .

** الوحدة (a.m.u.) هى وحدة الكتلة الذرية = ١.٦٦ × ١٠ $^{-٢٧}$ كجم .

*** الوحدة (Mev) المليون إلكترون فولت هى وحدة طاقة = ١.٦ × ١٠ $^{-١٣}$ جول

أنه من الأسهل إيقاف الجسيمات المشحونة ، وعلى ذلك فإن طاقتها يمكن أن تنبعث على شكل حرارة فى نطاق محدد . كما تستطيع النيوترونات أن تنفذ خلال أى مادة أكثر من أى جسيمات مشحونة ـ مثل البروتونات ـ وعليه فلابد من وجود حوائط صد سميكة لإيقاف النيوترونات والحصول على طاقتها . وهناك أيضًا إمكانية إستخدام الجسيمات المشحونة السريعة فى توليد الكهرباء مباشرة عن طريق إمرارها فى مجال مغناطيسى ..

وأوضح مثال على روعة الطاقة النووية الإندماجية هو ما يحدث فى الشمس ـ كما رأينا من قبل ـ حيث يتم إندماج البروتونات (أنوية الهيدروجين) لتكوين أنوية هليوم مع إنطلاق طاقة عظيمة ، وكل الأبحاث الجارية فى هذا المجال تنصب على كيفية الحصول على



شكل (١٣ – ٤) رسم توضيحى لبيان التفاعل النووى الاندماجى حيث يتحد الديوتريوم والترتييوم لتكوين جسيم ألفا (نواة هليوم) ونيوترون مع إنطلاق طاقة مقدارها ١٧.٦ مليون إلكترون فولت ، أى تساوى ٢٨.٢ × $١٠^{-١٣}$ جول .

هذه الطاقة الهائلة والتحكم فيها وتسخيرها لخدمة البشرية .

وللمفاعل النووى الإندماجى مزايا كثيرة عن المفاعل النووى الإنشطارى وهى :

١ – توفر ورخص الوقود المستخدم . فالديوتريوم وهو الوقود الأولى عبارة عن نظير مستقر للهيدروجين تحتوى نواتها على بروتون ونيوترون . ويوجد الهيدروجين بكميات هائلة فى البحار حيث تتحد ذرتان من الهيدروجين مع ذرة مع الأكسجين لتكوين جزىء ماء . وتوجد ذرة ديوتريوم بين كل ٦٥٠٠ ذرة هيدروجين ، والماء المتكون يسمى بالماء الثقيل . ومن الممكن فصل الماء الثقيل من الماء العادى نظرًا للفرق الكبير بين كتلتى الديوتريوم والهيدروجين . وهى أقل تكلفة من الفحم أو اليورانيوم مثلاً .

والمحتوى الطاقى لكل متر مكعب من الماء من مكوناتها من الديوتريوم هو ٦ × $١٠^{٩}$ جول . وبمعنى آخر فإن الطاقة المستخلصه من واحد متر مكعب من ماء البحر بهذه الطريقة تعدل الطاقة المستخرجة من ٢٠٠٠ برميل بترول . وكما تعرف فإن هناك مياه كثيرة فى المحيطات والبحار (حوالى $\frac{٣}{٢}$ × $١٠^{١٨}$ متر مكعب من المياه) . وعلى ذلك فإن المحتوى الطاقى للمحيطات يمثل مصدرًا لا نهائيًا للطاقة .

٢ ـ يسبب المفاعل النووى الإندماجى أخطارًا بيئية أقل بكثير من الأضرار التى يسببها المفاعل النووى الانشطارى . حيث أن النواتج النهائية للتفاعلات الإندماجية عبارة عن نظائر هليوم وهيدروجين . ولا ينتج أى نظائر لعناصر ثقيلة مشعة كما هو الحال فى التفاعلات الانشطارية ، كما لا يحدث أى إنتاج أو نقل للبلوتونيوم المشع ذو الخطورة الرهيبة على الكائنات البيولوجية .

٣ ـ ولأن التفاعلات الإندماجية تنهى نفسها بنفسها ، لذلك لا توجد أية خطورة من أى حوادث مفاجئة وذلك على عكس التفاعلات الانشطارية .

أما الخطورة الواردة فهى إمكانية تسرب التريتيوم (وهو مشع) أو النيوترونات المبتعثة خلال التفاعل ، ويمكن التغلب على ذلك بواسطة عزل المفاعل بالتفريغ الهوائى حوله وهى تقنيه ليست بالصعبة .

وعلى الرغم من هذه المزايا الكبيرة والفوائد الجمة إلا أن الأمل فى بناء محطات القوى التى تعمل بالإندماج النووى لا يزال بعيدًا . فهى ما تزال بعد فى مرحلة الأبحاث ، ومن الصعاب التى تقابلها هى التسخين إلى درجات حرارة عالية جدًا تصل إلى مائتين مليون درجة مطلقة .

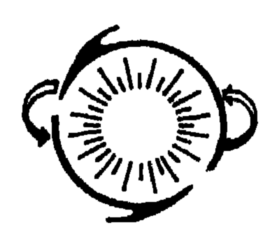
والطاقة النووية ستكون غالية الثمن من حيث كمية الاستثمارات المطلوبة لتنفيذها وستتطلب تكنولوجيا متطورة وعمالة فنية عالية التدريب . للأسباب السابقة مجتمعه يكون تنفيذها فى العالم الثالث مغامرة قد لا تحمد نتائجها .

وبعد فقد كانت هذه المجموعة من صور الطاقة المتجددة والبديلة مجرد نموذج صغير لما يجرى الآن فى العالم من جهود لإستنباط الطاقة من مصادر جديدة لحل مشكلة الطاقة التى أرقت الإنسان فى القرن العشرين .

١٣ ـ ٥ المراجع :

١ ـ V.A. Venikov, E.V. Putyatin, 'Introduction to Energy Technology', Mir Publishers, Moscow, 1984.

٢ ـ V. Gerasimov, A. Monakhov, "Nuclear Engineering Materials", Mir Publishers, Moscow, 1983.





الفصل الرابع عشر
خاتمة Conclusion

لعل ما أستهلك من طاقة خلال القرن العشرين الميلادى يتجاوز ما إستهلكته البشرية كلها فى عمرها المديد . ولقد تضاعف إستهلاك العالم من الوقود ثلاث مرات خلال السنوات الثلاثين الماضية ، وتضاعف إستهلاك البترول والغاز خمس مرات ، وتضاعف إستهلاك الكهرباء نحو خمس مرات . إن كمية الطاقة المتاحة فى العالم لا تستطيع مجاراة المطلوب من حيث الكمية ولا الطريقة التى يتم بها الحصول على الطاقة .

وعند محاولة الحصول على كمية من الطاقة لسد متطلبات المشروعات فإن الإقتصاديين والساسة يبحثون عن الطريقة التى يمكن أن تؤدى الغرض بأقل ما يمكن من تكاليف على افتراض أن المصادر المتنافسة متعادلة وبغض النظر عن النتائج الإجتماعية والبيئية فى أغلب الأحيان .

وفى الواقع فإن مصادر الطاقة غير متعادلة ولا يمكن إستبدال أحدها بالآخر . فبعض المصادر يحتاج إلى عمالة كبيرة ، وبعضها يحتاج إلى عدد قليل من الأفراد ، وبعض المصادر يحتاج إلى فنيين من نوع خاص بينما يستطيع العامل العادى وبمواد أولية بسيطة تشغيل نوع آخر من مصادر الطاقة . وفى الوقت الذى يمكن أن تقام بعض مشاريع الطاقة فى مدن كبيرة وفى مواقع بمواصفات محددة يمكن أن تستغل بعض المصادر فى القرى البعيدة والأماكن النائية .

وتتمتع مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية بمزايا رائعة فهى لا تسبب تلوثًا بيئيًا ولا تلوثًا حراريًا أو إشعاعيًا ، هذا غير أنها لا يمكن أن

تستخدم فى التسليح ولا فى تدمير العالم . كما أنها لا تواجه مشاكل تكنولوجية مستعصية فى سبيل إستخدامها ولا تحتاج إلى إستثمارات مالية خيالية كالإندماج النووى مثلاً .

ولابد فى هذه الخاتمة من الإشارة إلى مظاهر الإسراف فى إستهلاك الطاقة بأنواعها وإلى غياب ترشيد إستهلاك الطاقة . إن سيارة تحمل خمسة أشخاص تستهلك حوالى خُمس ما تستهلكه خمس سيارات تقطع نفس المسافة . إذن فلابد من تنظيم مواصلات عامة نظيفة ومريحة ومضبوطة . إن على العائلات والأسر أن تتعود مشاهدة تلفاز واحد فى البيت بدلاً من تلفازات متعددة ، وأن تطفىء الأنوار غير الضرورية . إن تطوير عادات حسنة فى إستهلاك الطاقة يمكن أن يوفر أموالاً طائلة .

وللبحث العلمى دور يجب أن يترك لتأديته فى حفظ الطاقة . فقد وجد أن كفاءة إستهلاك الطاقة فى السيارات بنسبة ١٠٪ . وفى التدفئة المنزلية ٦٪ وفى أجهزة تكييف الهواء ٥٪ وفى تسخن المياه ٣٪ فقط . إن مضاعفة كفاءة إستهلاك الطاقة لكل من الأمثلة السابقة يؤدى إلى توفير ضخم فى الطاقة . وإن إستثمار مليون دولار فى تطوير موقد يستعمل الخشب بكفاءة عالية فى الريف اليمنى مثلاً يوفر ما قيمته ملايين الدولارات من الخشب .

إن توفير الطاقة وحفظها سيسمحان لنا بأن ندخر جزءًا من الوقود الأحفورى لأغراض أخرى مهمة فى حياتنا مثل صناعة الأدوية والعقاقير والبتروكيماويات ، كما أنه سوف يسمح لنا بتقليل التلوث البيئى المصاحب للتقنيات الحديثة والإسراف فى إستهلاك الطاقة .

إن على الدول العربية أن تعطى موضوع الطاقة المتجددة جل إهتمامها ورعايتها البالغة وألا تؤجل البت فى هذا الأمر حتى لا تجد نفسها فى ورطة فات أوان حلها . إن على الدول العربية أن تبذل قصارى جهدها فى سبر غور مصادر الطاقة المتجددة والبديلة وأن تخطط لها المشاريع وترصد لها الأموال وأن تشجع تعلمها ودراستها والبحث العلمى لتطويرها وتطبيقها على بيئتها الخاصة وظروفها المحلية . ولن تحل هذه الدول أزمة الطاقة فيها إلا من خلال ذلك .

وبالنسبة للدول النامية يتساوى شراء النفط من دول الأوبك وشراء أجهزة إستخدام الطاقة الشمسية من الدول الغربية ، ولذا فإن تصنيع أجهزة الطاقة الشمسية محليًا هو الحل الأمثل للخروج من أزمة الطاقة التقليدية .

قائمة بالأشكال

رقم الشكل	الموضوع
١ ـ ١	توقعات الإنتاج العالمى من الوقود الأحفورى
١ ـ ٢	أربعة من المصادر الرئيسية للطاقة المتجددة وطرق الإستفادة منها .
٢ ـ ١	الإنتاج السنوى العالمى من الطاقة .
٢ ـ ٢	مقارنة توضح أهمية الفحم فى القرن القادم .
٣ ـ ١	الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض .
٣ ـ ٢	الطاقة الشمسية المغادرة للأرض
٣ ـ ٣	المتوسط السنوى لعدد ساعات سطوع الشمس اليومية فى العالم العربى .
٣ ـ ٤	متوسط كمية الإشعاع الشمسى الكلى الساقطة على العالم العربى شتاء (كيلووات ساعة / متر مربع / يوم) .
٣ ـ ٥	متوسط الحد الأقصى لكمية الإشعاع الشمسى الكلى الساقطة على العالم العربى صيفًا (كيلووات ساعة / متر مربع / يوم) .
٣ ـ ٦	المتوسط السنوى لكمية الإشعاع الشمسى الساقطة على العالم العربى (كيلووات ساعة / متر مربع / يوم) .
٣ ـ ٧	التغيرات الشهرية للإشعاع الشمسى الكلى فى الجمهورية العربية اليمنية .
٣ ـ ٨	تصميم لمنزل شمسى .
٣ ـ ٩	تصميم لمنزل شمسى آخر .
٣ ـ ١٠	تصميم لتدفئة منزل مباشرة بأشعة الشمس ، يمكن إستغلال جزء منه لزراعة النباتات .
٣ ـ ١١	نظام للتدفئة باستخدام الماء المسخن .

رقم الشكل	الموضوع
٣ ـ ١٢	تصميم آخر للتدفئة باستخدام الماء المسخن .
٣ ـ ١٣	نظام للتدفئة يستخدم الهواء المسخن .
٣ ـ ١٤	تكييف جو المنزل صيفًا وشتاءً بطريقة البركة الشمسية السطحية .
٣ ـ ١٥	التصميم العام للمجمعات الشمسية المسطحة .
٣ ـ ١٦	عمليات إمتصاص وانعكاس وفقد الإشعاع الشمسى فى المجمع الشمسى ذو اللوح الزجاجى الواحد .
٣ ـ ١٧	تقليل الفاقد الحرارى من المجمع الشمسى باستخدام لوحين زجاجيين .
٣ ـ ١٨	علاقة كفاءة التحويل للمجمع مع عدد الألواح الزجاجية .
٣ ـ ١٩	قطاع فى مقطر شمسى .
٣ ـ ٢٠	دورة التبريد بالضغط .
٣ ـ ٢١	التبريد وفق نظرية الإمتصاص . يعمل هذا الجهاز بمحاليل مائية (ماء ـ نشادر) أو (ماء ـ بروميد الليثيوم) .
٣ ـ ٢٢	مخطط لعمل دورة رانكن المغلقة .
٣ ـ ٢٣	نموذجان للمواقد الشمسية . (ا) فرن شمسى لطهى الطعام ، (ب) طباخ شمسى .
٣ ـ ٢٤	قطاع فى جهاز تجفيف شمسى .
٣ ـ ٢٥	رسم توضيحى لطريقة توليد الكهرباء بفكرة البرج .
٣ ـ ٢٦	رسم توضيحى لبيان تركيز أشعة الشمس على غلاية بواسطة المرايا الدوارة (الهليوستات) .
٣ ـ ٢٧	مبادئ عمل الوصلة الثنائية (p - n) ونشأة المجال الكهربى .
٣ ـ ٢٨	قطاع فى خلية سليكون شمسية ، يوضح نشأة ثنائيات (إلكترونات ـ فجوات) بواسطة الفوتونات الشمسية .
٣ ـ ٢٩	تشكل وإنفصال الثنائى (إلكترون ـ فجوة) .
٣ ـ ٣٠	خلية شمسية موصلة بحمل (Load) .
٣ ـ ٣١	الشكل العام لخلايا السليكون أحادية البلورة .
٣ ـ ٢٣	لوحة فوتوفولتية تضم ١٤ خلية سليكون شمسية .

رقم الشكل	الموضوع
٣ ـ ٣٣	قطاع فى خلية شمسية مصنعة من السليكون الأمورفى .
٣ ـ ٣٤	رسم توضيحى لإختزان الحرارة بواسطة الحجارة المجروشة .
٣ ـ ٣٥	نموذج لإختزان الحرارة الظاهرة بواسطة الماء ، تضاف الطاقة بإدارة الماء خلال المجمع الشمسى إلى الخزان ثم تدفع إلى المستهلك .
٣ ـ ٣٦	مقطع فى خزان ماء لا يحوى مبادلاً حراريًا .
٣ ـ ٣٧	مقطع فى خزان به مبادل حرارى .
٤ ـ ١	تصنيف البرك الشمسية .
٤ ـ ٢	قطاع فى نموذج بركة ملحية شمسية .
٤ ـ ٣	نموذج توضيحى لتحويل الطاقة الحرارية إلى كهربية باستخدام تقنية البركة الملحية الشمسية .
٥ ـ ١	دورة تحضير الكحول الإيثيلى .
٥ ـ ٢	رسم توضيحى لمحرك غاز المولدات .
٥ ـ ٣	النموذج الهندى لمولد البيوجاز .
٥ ـ ٤	النموذج الصينى لمولد البيوجاز .
٦ ـ ١	نماذج مختلفة لبعض أنواع المراوح الهوائية المستخدمة عمليًا .
٧ ـ ١	طبقات الأرض المختلفة .
٧ ـ ٢	الأطباق الأرضية الستة الرئيسية .
٧ ـ ٣	(أ) حدود الطبق المتباعد ، مع مرتفعات وسط المحيطات والتصدع والبراكين (كما فى مرتفعات وسط الأطلنطى) . (ب) حدود الطبق المتقارب ، منطقة إندساس مع الأخدود المحيطى ، البراكين والمسترسبات البلوتونية (الجوفية) (كما فى أخدود بيرو ـ شيلى) .

رقم الشكل	الموضـــوع
٧ ـ ٤	رسم توضيحي لأحد حقول البخار .
٧ ـ ٥	توليد الكهرباء من الصخر الحار الجاف بعد حفره (شقه) صناعيًا .
٧ ـ ٦	التوزيع الجغرافى للينابيع الحارة (الحمامات) فى اليمن .
٧ ـ ٧	قطاعات عرضية جيولوجية لمنطقة ذمار وحقول البركانيات من العصر الرباعى والمناطق المغطاة ببركانيات اليمن (العصر الثلاثى) .
٩ ـ ١	خلية تحليل كهربى
٩ ـ ٢	جهاز لتحضير غاز الهيدروجين بتأثير الأشعة الشمسية مباشرة .
٩ ـ ٣	أنظمة إستخدام طاقة الهيدروجين .
١٠ ـ ١	تأثير مواقع الشمس والقمر على عمليتى المد والجزر .
١٠ ـ ٢	توزيع الماء فوق سطح الأرض تحت تأثير القمر .
١١ ـ ١	تحويل طاقة سقوط المياه إلى طاقة كهربائية .
١١ ـ ٢	المواقع الثلاثة المقترحة لإقامة السدود على البحر الأحمر .
١٢ ـ ١	توليد طاقة كهربائية من فرق درجتى حرارة سطح وقاع المحيط .
١٢ ـ ٢	نموذج لتوليد الكهرباء من حركة المياه .
١٢ ـ ٣	تصميم آخر لتوليد الكهرباء من موجات البحر .
١٢ ـ ٤	(أ) شكل يوضح كيفية استغلال موجات البحر فى توليد الكهرباء . (ب) عبارة عن قطاع عرضى يبين تركيب المفصلة .
١٣ ـ ١	إنشطار نواة يورانيوم ٢٣٥ .
١٣ ـ ٢	إنشطار اليورانيوم ٢٣٥ فى القنبلة النووية .

رقم الشكل	الموضــــوع
١٣ ـ ٣	مخطط توضيحي لمشروع توليد القوى النووية باستخدام مفاعل الماء المضغوط .
١٣ ـ ٤	رسم توضيحي لبيان التفاعل النووى الإندماجي حيث يتحد الديوتريوم والتريتيوم لتكوين جسيم ألفا (نواة هليوم) ونيوترون مع إنطلاق طاقة مقدارها ١٧,٦ مليون إلكترون فولت ، أي تساوى ٢٨،٢ × $١٠^{-١٢}$ جول .

هــذا الكِتاب

إن مشكلتي نضوب مصادر الطاقة التقليدية وتلوث البيئة الناشيء عن شراهة الدول الصناعية فى حرق النفط والفحم ناهيك عن ارتفاع أسعارها وما ترتب على ذلك من مشاكل اقتصادية وخيمة لدول العالم النامى لمن أهم ما يدعونا إلى ضرورة الإلتفات إلى ما أنعم الله به على بلادنا من مصادر للطاقة المتجددة وضرورة استغلالها

وما مؤلفنا هذا إلا محاولة متواضعة من أجل التعريف بهذه الطاقات التى لاتنضب من شمس ورياح ونبات وحرارة أرضية وهيدروجين ومحيطات وبخار ومد وجزر ومساقط للمياه وغيرها

والسيطرة على تقنيات تحويل هذه الطاقات المتجددة إلى صور الطاقة الثلاث من كهرباء وحرارة وحركة سيضع الدول الفقيرة على عتبة باب جديد فى التقدم التقنى وسيحل بعض معضلاتها الاقتصادية والتنموية

وكتابنا هذا هو ثمرة عدة بحوث لنا فى هذا الموضوع ولقد بذلنا جهدنا لنبعد عن المعادلات الصعبة أو المعقدة مع شرح وتبسيط لمحتواها العلمى حتى نحافظ على الأمانة العلمية فى أسلوب سلس وبسيط

والله ولى التوفيق